

НАО "Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева"

УДК 625.76.08:625.768.5

На правах рукописи

8D07102 – Машиностроение

БУГАЕВ АНДРЕЙ БОРИСОВИЧ

**Разработка и обоснование параметров навесного ударно-роторного
оборудования для разрушения снежно-ледяных образований**

Диссертация на соискание академической
степени доктора философии (PhD)

Научные консультанты:
Дудкин Михаил Васильевич,
д.т.н., профессор.

Молдаханов Бекболат Аскерханович,
PhD, инженер ТОО "Өскемен-Тазалық".

Зарубежный научный консультант
Кустарёв Геннадий Владимирович,
к.т.н., профессор,
Московский автомобильно-дорожный
государственный технический
университет (МАДИ)

Республика Казахстан
Усть-Каменогорск, 2025

СОДЕРЖАНИЕ

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ		4
ВВЕДЕНИЕ		5
1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА БОРЬБЫ С ГОЛОЛЕДОМ НА ДОРОГАХ И ТРОТУАРАХ И ПРЕДШЕСТВУЮЩИХ ИССЛЕДОВАНИЙ		11
1.1	Общие сведения об обледенении на дорогах и тротуарах и значимости работы по борьбе со снежно-ледяными образованиями	11
1.2	Свойства льда, как объекта механической разработки	19
1.3	Обзор и анализ известных способов, оборудования и технологий для разрушения тонкого слоя льда на автомобильных дорогах ...	22
1.4	Обзор и анализ известных изобретений для зимнего содержания дорог и тротуаров (рабочих органов для разрушения и уборки льда)	32
1.5	Определение перспективных направлений работы по разрушению льда на дорогах и тротуарах	44
Выводы по разделу		45
2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ДЛЯ РАЗРУШЕНИЯ ЛЬДА		46
2.1	Теоретические модели и предпосылки для разработки рабочего льдоскалывающего оборудования инерционно-ударного действия	46
2.1.1	Описание процесса взаимодействия рабочего оборудования инерционно-ударного действия с СЛО	46
2.1.2	Механико-математическая теоретическая модель внедрения сферического бойка в деформируемый ледяной слой	53
2.1.3	Теоретическая математическая модель ударно-силового взаимовлияния сферического ударника с упругодеформируемым ледяным слоем	63
Выводы по 2 разделу		75
3 МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА РАЗРУШЕНИЯ ЛЬДА ИНЕРЦИОННЫМИ БОЙКАМИ-УДАРНИКАМИ ЛЬДОСКАЛЫВАТЕЛЯ		76
3.1	Этапы, задачи и общая схема экспериментальных исследований	76
3.2	Методика и проведение эксперимента в лабораторных условиях	78
3.3	Исследование свойств льда и характеристик процесса его разрушения	83
3.3.1	Экспериментальные лабораторные исследования разрушения льда на дорожном покрытии	95

3.3.2	Теоретико-эмпирическая модель зависимости разрушения ледового покрытия от параметров сферических бойков-ударников	103
3.3.3	Эмпирическая корректировка теоретических зависимостей	111
3.4	Сравнительные форсированные испытания на надежность рабочих секций льдоскалывателя со сферическими бойками на гибких тягах	119
3.4.1	Лабораторные ресурсные испытания рабочих секций льдоскалывателя на их работоспособность, функциональность и безотказность	122
3.4.2	Стендовые испытания рабочей секции льдоскалывателя на прочность, деформацию и циклическую выносливость	129
3.4.3	Испытания РС на прочность	132
3.4.4	Испытания на прочность и деформативность гибких тяг РС	132
3.4.5	Опытная проверка РС на прочность под нагрузкой	134
3.4.6	Функциональные испытания РС	136
3.4.7	Испытания на ресурс	139
3.5	Сравнительные испытания различных конструкций РС на надежность, выявление их недостатков	142
3.6	Натурные экспериментальные исследования навесного рабочего оборудования льдоскалывателя с сферическими бойками	146
3.7	Проверка соответствия теоретической модели соударения СЛО с инерционно-ударными бойками рабочего оборудования льдоскалывателя теоретико-опытным путем	155
3.7.1	Результаты экспериментального исследования	158
	Выводы по разделу	167
4	ОБЗОР И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАЗРАБОТКЕ И ВЫБОРУ РАЦИОНАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ НАВЕСНОГО УДАРНО-РОТОРНОГО РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ РАЗРУШЕНИЯ СНЕЖНО-ЛЕДЯНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ	169
	Выводы по 4 разделу	176
	ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ	177
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	180
	ПРИЛОЖЕНИЯ	190
	ПРИЛОЖЕНИЕ А - Технология серийного производства сменных рабочих секций льдоскалывателя с ударниками	190
	ПРИЛОЖЕНИЕ Б - Техническая документация на льдоскалыватель ..	204
	ПРИЛОЖЕНИЕ В - Подтверждение публикаций	219
	ПРИЛОЖЕНИЕ Г – Акты внедрения	220
	ПРИЛОЖЕНИЕ Д – Патенты на изобретения	228
	ПРИЛОЖЕНИЕ Е – Сертификаты по теме диссертации	241

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

В настоящей диссертации применяют следующие сокращения и обозначения:

РК – Республика Казахстан

РФ – Российская Федерация

ВКТУ – Восточно-Казахстанский технический университет

ВКГТУ – Восточно-Казахстанский государственный технический университет

НИР – научно-исследовательская работа

КО - комплекс оборудования

СЛС - снежно-ледяной слой

СЛО – снежно-ледяные образования

ОПО - опытно-промышленный образец

ЭМ - экспериментальная модель

НЦ - ведущие зарубежные научные центры

Табл. – таблица

Рис. – рисунок

МКЭ – метод конечных элементов

ПО – программное обеспечение

ПК – персональный компьютер

ЖКХ – жилищно-коммунальное хозяйство

АБП – асфальтобетонное покрытие

РО – рабочий орган

РС – рабочая секция

ТЭО - технико-экономическое обоснование

ВВЕДЕНИЕ

Общая характеристика работы. Актуальной проблемой для коммунальных и дорожно-эксплуатационных служб в зимние месяцы является очистка и уборка возникающего на несущей поверхности автомобильных дорог и тротуаров от обледенений и снежно-ледяных образований (СЛО), которые существенно затрудняют движение пешеходов и управление автомобилем, а иногда делают их невозможными [1 - 4].

Снежно-ледяные насты, скапливающиеся на автомобильных дорогах и пешеходных тротуарах, по своим физическим свойствам и внешнему поведению могут подразделяться на неуплотненный, несвязный снег (рыхлый), спрессованный, накатанный снег и прозрачный стекловидный лед. При несвязном снеге коэффициент сцепления шин с заснеженным покрытием понижается до 0,2, при накатанном снеге коэффициент сцепления шин с поверхностью 0,01...0,25, при образовании стекловидного льда коэффициент сцепления шин становится 0,08...0,15. Для сравнения, коэффициент сцепления сухого асфальта - 0,7...0,8 [5-7].

Коэффициент сцепления колеса с дорожным покрытием влияет на пробег, длину тормозного пути и себестоимость перевозок, а также оказывает значительное влияние на рост выделения отравляющих газов от транспортных средств. Как показывают результаты натурных наблюдений, длина тормозного пути транспортных средств в гололедоопасном интервале увеличивается в 2,5...6,0 раз, увеличение расхода топлива - до 85% [8].

В настоящее время существуют различные методы борьбы с обледенением на дорогах и тротуарах.

Из них к основным можно отнести:

- покрытие дороги химическими противогололедными материалами и жидкостями;
- механическое воздействие за счет неконтролируемого удара;
- тепловое воздействие;
- покрытие дороги фрикционными материалами, типа песка, в том числе, подогретыми [9].

Нанесение противогололедных химических реагентов на дороги и поверхность тротуаров, при помощи которых происходит разрушение льда, характеризует химический способ очистки. Но эти же нанесенные реагенты оказывают вредное воздействие на экологию (вызывают засоление воды и почвы, наносят вред зеленым насаждениям городов), вызывают коррозию дорожных (мостовых) конструкций и коррозию автомобилей, оказывают неблагоприятное воздействие на асфальтобетонные и, особенно, цементобетонные дорожные покрытия, негативно воздействуют на обувь пешеходов [10].

Тепловое воздействие на снежно-ледяные образования в городских условиях затруднительно, малоэффективно и не может применяться,

например, на тротуарах, так как для его осуществления требуются простор и отсутствие пешеходов [11].

Посыпка СЛО инертными фрикционными материалами широко применяется в дорожных организациях, так как этот способ прост, доступен и экологически безвреден и частично помогает справиться с ситуацией на тротуарах. Для ликвидации скользкости на дороге используются различные инертные, сыпучие материалы, повышающие сцепные качества покрытия и при этом не вызывающие коррозии автомобилей и не оказывающие вредного воздействия на окружающую среду. Однако способ обработки льда фрикционными смесями экономически затратен, действует краткосрочно и требует дополнительных капиталовложений для уборки насыпанного фрикционного материала с эксплуатируемых дорожных поверхностей в летний период [1, с. 46-73; 7, с. 5-15; 9, с. 13-19].

Существующие на сегодняшний день механические способы воздействия на зимнюю скользкость, заключающиеся в разрушении и последующей очистке раздробленных СЛО с эксплуатируемой поверхности дороги (тротуара), являются самыми экологически безвредными способами, которые позволяют уменьшать неравномерные ледяные скопления на дороге путем их скола или срезания и в относительной мере приближают эксплуатационные характеристики дорожного покрытия к летним показателям.

Недостатком механического разрушения и удаления льда имеющимся на сегодняшний день рабочим оборудованием, является, прежде всего, вероятность повреждения (срезания, излома и т.п.) несущей части дороги (тротуара) в процессе их очистки от СЛО, а также большие затраты энергии, требуемой на дробление льда, с возрастанием в функции времени его плотности, а значит и прочности (твердости), которая характеризует его сопротивление разрушающему воздействию. Поэтому не все рабочие органы для механического удаления льда, непредсказуемо воздействующие вместе со льдом еще и на дорожное покрытие, в настоящее время рекомендуются к применению и зачастую используются как вынужденная мера [12].

Отсутствие исследований рабочего процесса нового перспективного навесного ударно-роторного рабочего оборудования для разрушения снежно-ледяных образований на дорогах и определение влияния геометрических и весовых параметров ударного льдоскалывателя на силы сопротивления и крутящий момент, определяют **актуальность исследования**.

Актуальность работы, равно как и предполагаемый социальный эффект, продиктованы ожидаемым снижением случаев зимних ДТП и пешеходного травматизма на территории РК, а за счет того, что новыми льдоскалывающими машинами дороги будут приведены быстрее в удовлетворительное состояние, водители и автомобили будут меньше находиться в состоянии пробок, и, значит, будет снижен выбрасываемый ими объем выхлопных газов.

Идея диссертационной работы сводится к разработке и обоснованию параметров новых эффективных методов и машин для механического

дробления льда, способных оперативно обеспечить работоспособность и целостность поверхностного слоя обслуживаемой дороги после удаления СЛО за счет регулируемого и управляемого направления и силы удара льдоскалывателя на СЛО при изменении его свойств.

Проблема заключается в трудности эффективного обеспечения бесперебойной работы городского и междугороднего автомобильного транспорта при зимних температурных перепадах, в результате которых на дорогах образуется ледяная пленка, скалывание которой вызывает затруднение из-за отсутствия соответствующей техники и оборудования, разработка и обоснование параметров которых приведены в предлагаемом для защиты диссертационном исследовании.

Основная гипотеза диссертационной работы состоит в возможности повышения эффективности механической очистки ледяной пленки и СЛО с поверхности дорожного полотна без его разрушения ударами бойков льдоскалывателя, при минимальных расходах.

Анализ исследований по теме диссертации выявил большой спрос дорожно-обслуживающих организаций на высокоэффективное и энергосберегающее оборудование для зимнего содержания пешеходных тротуаров и автомобильных дорог.

Выполнить такие работы можно, применяя эффективное навесное и другое оборудование, рабочее воздействие которых на СЛО представляет собой, например, удар – самый энергонасыщенный и эффективный для разрушения вид воздействия. Однако, чтобы несущее покрытие дороги не разрушилось, удар должен наноситься так, чтобы исключалось концентрированное воздействие и проникновение его активных составляющих через СЛО в слой дорожного покрытия, что можно обеспечить за счет управляемого регулирования величины генерируемого оборудованием удара, превышающей прочность льда на сжатие и недостаточной для превышения прочности асфальтобетона, что позволит разрушать лед, практически не повреждая покрытие дороги [13 - 16].

Цель работы - установление зависимостей и закономерностей, отображающих рабочий процесс навесного ударно-роторного рабочего оборудования для разрушения снежно-ледяных образований на дорогах.

Задачи работы:

- выполнен анализ состояния вопроса борьбы с гололедом на дорогах и тротуарах, а также конструктивный анализ патентных и научно-технических сведений в области конструкций навесного ударно-роторного рабочего оборудования для разрушения льда и снежно-ледяных образований (СЛО);
- разработать и исследовать механико-математическая модель инерционного внедрения сферического бойка в деформируемый ледяной слой;
- разработать методику экспериментов и экспериментальные стенды, и оборудование для опытной проверки закономерностей разрушения льда на дорожном покрытии. Выполнить сравнение экспериментальных результатов с аналитически полученными результатами;

- предложить конструкцию навесного ударно-роторного рабочего оборудования для разрушения льда и снежно-ледяных образований (СЛО) бойками с различной геометрической формой, обеспечивающая максимальную эффективность очистки автомобильных дорог от льда и СЛО.

Объектом исследования выступает рабочий процесс навесного ударно-роторного рабочего оборудования для разрушения льда и снежно-ледяных образований на дорогах.

Предмет исследования – закономерности рабочего процесса взаимодействия ударно-роторного рабочего оборудования с ледяными образованиями на дорогах.

Научная работа базируется на разработке и научном обосновании новых способов работы навесного оборудования машин для зимнего содержания автомобильных дорог и городских территорий с целью получения максимального эффекта при минимальных энергозатратах.

Научной новизной является:

- экспериментальным путем подтверждена гипотеза о возможности эффективного механического дробления и очистки ледяной пленки и СЛО с поверхности дорожного полотна без его разрушения от ударов инерционными бойками;

- теоретическим путем определены составляющие сил сопротивления при взаимодействии ударно-роторного льдоскалывателя с разрушаемым льдом, зависящие от геометрических параметров инерционных элементов льдоскалывателя, его рабочей скорости и частоты вращения ротора;

- механико-математическая модель внедрения сферического бойка в деформируемый ледяной слой и теоретико-эмпирическая модель зависимости разрушения ледового покрытия от параметров сферических бойков-ударников;

- экспериментальным путем получены результаты глубины проникновения бойка в лед при его разрушении ударником со сферическим наконечником;

- экспериментальным путем получены результаты сравнительных форсированных испытаний на надежность, работоспособность, функциональность и безотказность рабочих секций льдоскалывателя со сферическими бойками на гибких тягах;

Научно-прикладной эффект заключается в разработке новых видов оборудования повышенной эффективности для борьбы с СЛО на дорожных покрытиях.

Практическая значимость исследований заключается:

- в технической документации и конструкции готового, оригинального, навесного, экспериментального роторно-ударного льдоскалывателя, реализующего эффективное механическое разрушение ледяной корки на очищаемой поверхности дорог;

- в разработанной методике расчета параметров нового, сменного, роторно-фрезерного ударного льдоскалывателя, навешиваемого на базовую

машину-тягач и обеспечивающего эффективное механическое разрушение ледяного покрова [17];

- в разработанном экспериментальном стенде для форсированного исследования рабочих секций ударно-роторного льдоскалывающего рабочего оборудования, позволившим определить их работоспособность, функциональность и безотказность.

- в конструктивных решениях нового навесного ударно-роторного рабочего органа для разрушения льда и СЛО, подтвержденных 6 патентами РК на изобретения, опубликованной международной заявкой на патент РСТ (цитируется в Web of Science), 1 Евразийским патентом на изобретение.

На защиту выносятся следующие научные положения:

- применение навесного ударно-роторного рабочего оборудования с инерционными бойками разной геометрической формы для разрушения льда и СЛО, позволяет эффективно очищать дорожное полотно от ледяного покрытия, оставляя само дорожное полотно неразрушенным;

- сопротивление льда сдвигающим касательным усилиям, как на гладкой, так и на шероховатой поверхности в среднем на 20% больше сопротивления льда отрыву, что свидетельствует о практической невозможности удаления ледяной пленки исключительно сдвигом, и требуется его разрушение (дробление) и очистка механическим способом, например, инерционными бойками;

- закономерности влияния изменения толщины и температуры ледяного покрытия дорожного полотна на изменение расхода мощности его дробления;

- при массе ударника $m=0,5$ кг и диаметре его сферической рабочей поверхности $r=0,03$ м полное разрушение льда толщиной $h_{\text{л}}=0,1$ м при температуре воздуха $t^{\circ}_{\text{в}} = -20^{\circ}\text{C}$ происходит без касания и удара сферы о поверхность бетона, при этом энергозатраты на дробление льда и СЛО с поверхности автодорог уменьшаются до 25%, при сохранении производительности;

- на разрушение СЛО не влияет приложенная к нему сила, а влияет подведенная к нему кинетическая энергии и значение той ее части, которая тратится на совершение полезной работы дробления СЛО, т.е. преобразуется в потенциальную энергию напряжений, возникающих в теле СЛО в процессе его формоизменения, ведущего далее к разрушению или дроблению.

Автор защищает:

1. Конструктивные решения нового навесного ударно-роторного рабочего органа для разрушения льда и СЛО, вращающиеся рабочие секции которого оснащены инерционными бойками на гибкой связи;

2. Механико-математическую модель динамического взаимодействия сферического ударника с ледяной упруго деформируемой поверхностью, позволяющую определить минимальную величину контактного давления q , необходимую для разрушения снежно-ледяного образования, что устраняет необходимость применять избыточное по величине воздействие с запасом

энергии, то есть снижает энергозатраты на процесс разрушения снежно-ледяных образований и позволяет сэкономить энергию.

3. Результаты экспериментальных исследований;

4. Методику расчета параметров навесного ударно-роторного рабочего оборудования для разрушения снежно-ледяных образований на дорогах.

Апробация работы. Результаты исследований докладывались и обсуждались на международных научных конференциях: VI МНПК «Наука и образование в современном мире: вызовы XXI века», 16.04.2020, (ОЮЛ «Бобек». - Нур-Султан); МНПОК «Интеграция науки, образования и производства – основа реализации Плана нации» (Сагиновские чтения №12), 19.06.2020г. (Караганда, КарГТУ); на VII МНТК, 8-9 апр. 2021 г., Усть-Каменогорск, ВКТУ; на 77 (2.02.2019) и 78 (31.01.2020) МНМиНИК МАДИ (МАДИ, Москва, РФ).

Реализация результатов исследований. Опытные образцы навесного рабочего органа для разрушения снежно-ледяных образований на дорогах внедрены в ТОО «Өскемен Тазалық», г. Усть-Каменогорск в 2019 г., и в ВКФ ТОО «Евротехсервис К» в г. Усть-Каменогорске в 2020 г.

Научно-исследовательские доклады по теме диссертации заняли два вторых места в 2019 и 2020 году по итогам 77-й и 78-й научных конференций МАДИ (Москва РФ).

Материалы экспериментальных исследований по теме диссертации были использованы при составлении заключительного отчета по госбюджетной НИР АР 05130746 «Механизированный комплекс для очистки дорог и тротуаров в зимнее время» (2018-2020), где соискатель являлся исполнителем.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из обозначений и сокращений, введения, 4 разделов и заключения, списка использованных источников и 6 приложений. Работа изложена на 189 страницах машинописного текста, включает 131 рисунок, 16 таблиц, список использованных источников из 128 наименований и 6 приложений.

1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА БОРЬБЫ С ГОЛОЛЕДОМ НА ДОРОГАХ И ТРОТУАРАХ И ПРЕДШЕСТВУЮЩИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1 Общие сведения об обледенении на дорогах и тротуарах и значимости работы по борьбе со снежно-ледяными образованиями

В современной мировой промышленности и науке вопросам развития технологий и машин для удаления снежно-ледяных образований с поверхности автомобильных дорог и городских территорий уделяется, к сожалению, недостаточное внимание. В основном эти работы ведутся в странах с суровыми зимами, таких, как Россия, Швеция, Канада. Остальные страны устраивают исследования по уборке снега, лед на дорогах для них большая редкость. Мало исследований по зимнему содержанию дорог до последнего времени было и в Казахстане, но в последнее время появились публикации и патенты по теме проекта отечественных исследователей.

Предыдущими исследователями и исследованиями, в т.ч. и авторами данной работы, был накоплен богатый опыт предварительных технических решений и экспериментальных данных. Вопросами борьбы со снежно-ледяными образованиями на поверхностях дорог и тротуаров занимались следующие учёные и научные группы: В.И. Баловнев, А.Б. Ермилов, Ю.П. Бакатин [18, 19], Г.В. Кустарев, О.Д. Лончаков, И.П. Басанцев [20-22], Г.Г. Воскресенский [23], Ю.И. Молев, И.Б. Коробов, М.В. Черняевский [24, 25], М.В. Дудкин, Г.А. Гурьянов, А.И. Ким, А.В. Вавилов [26 - 32], М. Młyńczak [33], А.А. Назаровский [34], А.В. Янкович [35], О.С. Строганова [36], А.С. Кадыров [37], А.Т. Кулимбетов, С.Т. Тәшен [38], С.К. Шиликбаев [39], А.М. Молдабек [40], А.К. Киялбаев, Б.Б. Телтаев [41], Г.Л. Карабан [42] и другие. В данной работе используются отдельные математические зависимости, полученные некоторыми из вышеупомянутых ученых.

Также нельзя не отметить, что в целом мировые исследования в области зимнего содержания дорог с очисткой их от снега и льда, и разработки соответствующего оборудования довольно обширны. Однако, исходя из анализа литературных источников, можно сказать, что в мировой и в казахстанской науке образовался определенный застой (или пробел) в разработке новых научных принципов создания технологического оборудования для зимнего содержания дорог и городских территорий. Основной причиной этого, по нашему мнению, является отсутствие жестких требований к состоянию очистки поверхностей ото льда в зимнее время, что позволяет задействовать малоэффективную в зимний период технику для летнего содержания дорог или технику, предназначенную для срезания поврежденного асфальта при ремонте, при этом обычно не учитываются их высокие показатели энергопотребления и нарушение целостности несущего слоя автомобильных дорог и тротуаров.

Безопасности передвижения наземного транспорта и пешеходов всегда уделяется большое внимание независимо от величины насыщенности их

интенсивности передвижения в условиях городских или загородных маршрутов.

Покрытые в зимний период эксплуатации ледяной коркой дороги больше всех других маршрутов не соответствуют требованиям безопасности перемещения пассажиров и грузов.

Следовательно, разрушение ледяных накатов на таких дорогах, есть основной фактор обеспечения безаварийного передвижения, что очень важно в условиях, когда число дорожных происшествий, связанных с зимней скользкостью дорог, еще весьма значительно.

Обледенение поверхности дорог разрушает управляемость транспортом, что приводит к дорожным происшествиям, зачастую с человеческими жертвами. В период обледенения дорог число дорожных происшествий и жертв резко возрастает, достигая 70% годового количества, которое в абсолютных цифрах достигает внушительных размеров. По известным статистическим данным, взятым из печатных изданий Англии, с 1960 года на городских и междугородних дорогах погибло свыше 275000 человек и до 10000000 человек в результате транспортных происшествий получили травмы и ушибы различной степени тяжести. Если учесть, что от 25 до 33% этого количества жертв имели место на обледенелых участках дорог, то станет ясным, что борьба за увеличение безопасности передвижения пешеходов и транспорта по зимним дорогам является серьезной проблемой [43].

Одной из основных мер в таких случаях является уменьшение скорости движения транспорта. По правилам, при движении по обледенелой дороге требуется снизить скорость транспортного средства до 15 км/ч.

Данный метод «пассивного» предотвращения аварийности движения наземного транспорта по скользкому покрытию не дает гарантий полной безопасности и приводит к снижению эффективности бесперебойной работы всего наземного транспорта.

Ориентировочные расчеты показали, что уже двукратное снижение средней скорости движения уменьшает производительность городского транспорта на 30...40% и повышает себестоимость перевозок на 25...30% [44].

Получается, что надлежащего решения проблемы способ «пассивной» борьбы не дает и рекомендуется к применению в случаях отсутствия других решений проблемы.

Колебания влажности и температуры воздуха, а также и дорожного полотна со слоем СЛЮ, способствуют образованию ледяной корки или пленки на несущем слое автомобильных дорог или пешеходных тротуаров.

Ежедневные колебания температуры и влажности окружающего воздуха, сопровождающиеся временным увеличением (до 0°C) температуры, после которого приходит сильное похолодание, несущее покрытие дорог и пешеходных тротуаров покрывается тонкой и сплошной коркой льда.

В случае внезапного потепления воздуха (до 0°C), также происходит обледенение зимних дорог, как и при снегопаде или дожде вследствие замерзания осадков.

Это объясняется тем, что поверхность дороги нагревается медленнее, чем температура окружающего воздуха. Такое обледенение называется гололедом, и в связи с тем, что оно связано с атмосферными условиями, мер для его предотвращения не существует.

При постоянной морозной и сухой погоде и неколеблущейся температуре на очищенных от СЛО дорогах наледь не образуется, и они становятся безопасными для обычного движения транспорта и пешеходов.

Поэтому при составлении плана обслуживания дорог в зимних условиях эксплуатации необходимо помнить, что критической точкой для появления гололеда является температура, близкая к 0°C , а наибольшая вероятность образования гололедицы появляется при варьировании погодных условий в пределах от $-3 \div +3^{\circ}\text{C}$ [45].

На тротуарах или дорогах, некачественно очищенных от снега после или в период его выпадения, в какой-то промежуток времени в процессе движения пешеходов и транспорта, снег постепенно уплотняется и переходит в гладкую, без разрывов, ледяную корку со снегом и скользкой поверхностью и переходит в колею при неравномерном местном уплотнении.

Слой тонкого снега при перепаде температур полностью переходит в ледяную корку; при достаточности снега переходу в тонкую ледяную корку подвергается только его верхняя прослойка.

Переходу снега в фазу льда также способствует тепловая реакция, возникающая при трении шин транспортных средств о поверхность снега и дорожного покрытия.

В предельно малый промежуток времени контакта происходит оттаивание верхнего слоя СЛО, а затем, охлаждаясь окружающим воздухом и нижележащими слоями СЛО, он превращается в ледяную корку.

Опасность заноса транспортного средства появляется и при буксовании их колес, делающих поверхность ледяной корки очень гладкой и скользкой.

При торможении машины, движущейся по скользкой дороге с движущей силой, хоть сколько-то превышающей силу сцепления шин с дорогой, колеса начинают скользить по дороге с заносом. А так как трение скольжения меньше трения покоя, сцепление дороги с колесами транспортного средства еще больше уменьшается.

Аварии в результате заносов и скользящих наездов автомобилей – достаточно частое явление при движении по скользкой, обледеневшей дороге. Даже в случаях осторожного торможения и использования наилучшего сцепления колес автомобиля с обледеневшей полосой движения, сохраняется вероятность неконтролируемого наезда на пешехода или другую машину.

Происходит это потому, что длина пути торможения на обледеневшей дороге значительно увеличивается. Длина пути торможения при этом определяется по формуле 1.1 [17, с. 60-65]:

$$L_{\text{торм}} = \frac{v^2}{2g} \cdot \frac{1}{\varepsilon \cdot \varphi}, \text{ м} \quad (1.1)$$

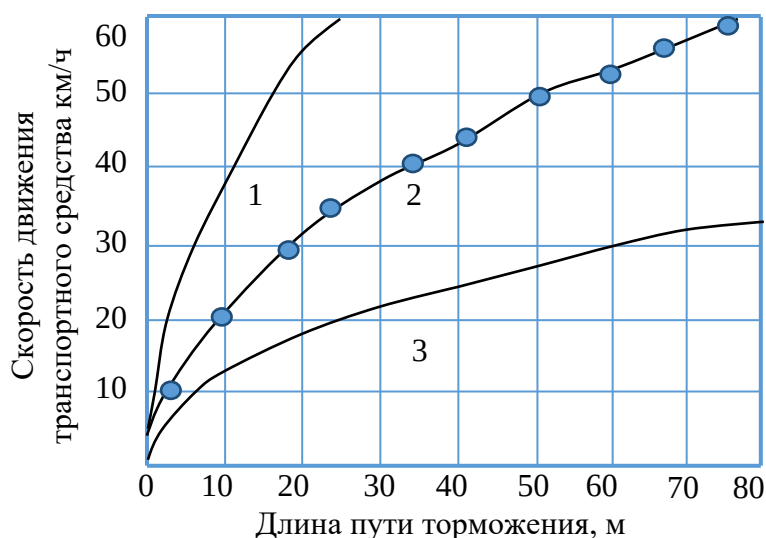
где v – скорость движения перед началом торможения, м/сек;
 g – ускорение силы тяжести, м/сек²;
 ε – коэффициент, характеризующий сцепной вес;
 φ – коэффициент, характеризующий сцепление дороги с колесами автомобиля.

Наземный транспорт, оборудованный механизмами торможения на всех колесах $\varepsilon=1$, коэффициент сцепления для чистой, но мокрой дороги $\varphi=0,2$, для асфальтобетонной сухой дороги $\varphi=1$, и для обледеневшей дороги $\varphi=0,06$.

Сравнивая на рисунке 1.1 зависимости величины летнего и зимнего тормозного пути колесной машины, движущейся по дороге с разным покрытием, видим, что летом этот путь короче зимнего.

Соответствующая длина, при одинаковой скорости, увеличивается в 5 и более раз при торможении на обледенелой дороге.

Вероятность аварии при гололедице сохраняется даже при значительном снижении скорости колесной машины [11, с. 8-17].



1 – чистый и сухой асфальтобетон; 2 – мокрый, чистый асфальтобетон; 3 – дорога, покрытая тающим льдом

Рисунок 1.1 – Зависимость тормозного пути от скорости и пути торможения

Чтобы убедиться в этом, определим, с какой скоростью должен двигаться по обледеневшей дороге легковой автомобиль для того, чтобы его тормозной путь не превышал 7,2 м, обусловленных действующими международными правилами движения транспорта на дорогах:

$$v_{\max} = \sqrt{2 \cdot g \cdot L_{\text{торм}} \cdot \varepsilon \cdot \varphi} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 7,2 \cdot 1 \cdot 0,06} = 2,88 \text{ м/с} = 10,4 \text{ км/ч} \quad (1.2)$$

Получившаяся безопасная скорость движения легкового автомобиля на скользкой дороге много меньше средней скорости, а это означает, что его производительность значительно снижена.

Достаточная сила сцепления колесной машины и дороги способствует ее управляемости, торможению и безаварийному движению. Сцепной вес, коэффициент сцепления, тип шин тесно связаны с значением силы сцепления. Чтобы не рассматривать снежно-ледяной покров городских улиц в виде массы определенной структуры, пользуясь обычной классификацией, разделим его на следующие категории, зависящие от свойств и состояния:

1) снег свежеснежавший, снежинки которого, соответствуют своей начальной кристаллической форме и плотности, варьируемой с 0,03 до 0,20 т/м³;

2) снег плотный, лежалый, с видоизмененной под влиянием осадки испарения и других воздействий, первоначальной структурой, с плотностью от 0,2 до 0,4 т/м³;

3) снежный накат, получившийся механическим уплотнением при переменном тепловом режиме, в сплошной массив которого, с плотностью 0,35...0,60 т/м³, объединились отдельные кристаллы снега и снежинок;

4) ледяная полу снежная корка, получающаяся при уплотнении и дальнейшем промерзании снежного наката, в которую уже с плотностью 0,6...0,8 т/м³ преобразовалась большая часть кристалликов льда;

5) лед, с объемным весом 0,90...0,92 т/м³, в котором кристаллы снега трансформировались в лед [9, с. 9-13; 11, с. 8-17; 42, с. 127-134; 46].

Между этими категориями практически нет возможности провести резкую границу, но всегда нужно помнить, что снег в первых двух категориях обладает характерными структурой и свойствами сыпучего вещества, а в остальных преобладают категории твердого тела.

Свежеснежавший снег по плотности зависит во время снегопада от температуры воздуха, что показано на графике рисунка 1.2.

Из рисунка 1.2 видно, что свежеснежавший снег по плотности при температуре от 0°C до -25°C изменяется в пределах 0,14...0,06 т/м³.

Сильно увлажненный «пухлый» снег при высокой температуре воздуха стремится к выпадению в виде хлопьев, а при температуре воздуха 0°C и выше, имеет большую плотность с сохранением кристаллической формы снежинок [11, с. 8-17; 46, с. 115-121].

Снег, лежащий на полотне дороги, под колесами движущихся транспортных средств спрессовывается за меньший отрезок времени, быстрее, чем если бы он находился в естественном лежании.

Несметенный с городской дороги снег (обычно от нескольких миллиметров до 5...10 см) может уплотниться полностью.

Характеристика снега в городских условиях в зависимости от состояния или способов уборки приведена в таблице 1.1 [11, с. 12-14].

При интенсивном уплотнении снега, его структура все больше становится похожа на кристаллическую структуру льда, поэтому при значительной степени уплотнении разница как между структурами, так и между самими материалами становится все менее заметна.

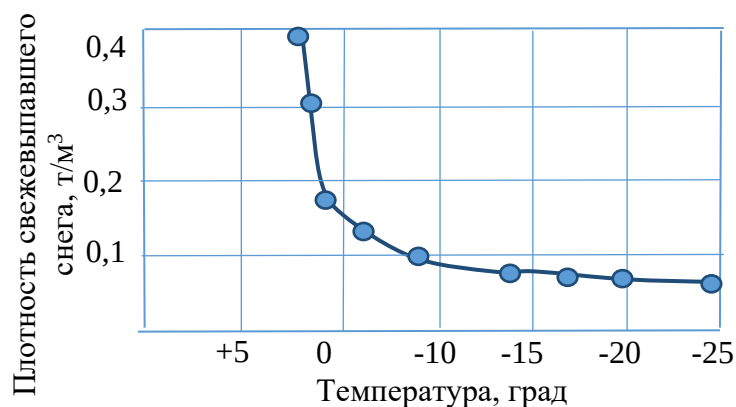


Рисунок 1.2 – Изменение плотности свежевыпавшего снега в зависимости от температуры

На неровной дороге, снег превращается в лед быстрее всего, так как выступы такой дороги уже практически все обледенелые, а попадающий между ними снег, уплотняемый колесами, быстрее подтаивает, замерзает и превращается в гладкую сплошную ледяную поверхность.

Под колесами автомобильного транспорта уплотняемый снег подтаивает не только в теплую погоду, но и при температуре окружающего воздуха ниже нуля, и это несмотря на то, что удельные давления от автомобильных шин относительно невелики, находясь в пределах 13,0 - 40,5 кг/см². Исключение составляют шины с высоким (8,0 - 17,5 кг/см²) и низким (2,5 – 5,5 кг/см²) давлением [46, с. 115-121].

Если заледенелый слой СЛЮ многократно замораживался и после этого опять подтаивал, не убираясь с дорожного полотна, он переходит в состояние однородной ледяной смеси, плотно и ровно покрывающей полосу движения.

Толстая, скалываемая при оттепелях с дорожного полотна снежно-ледяная корка, может достигнуть плотности около 0,73 т/м³, если длительно уплотнялась шинами транспортных средств.

Исследованиями Академии коммунального хозяйства им. К.Д. Памфилова (РФ) [11, с. 14] установлено, что объемный вес льда, образующегося на дорожных покрытиях, в среднем составляет 0,93 т/м³, он может быть засорен различными включениями до 4,84%, предел его прочности при срезе – 16,4, а при разрыве – 24,1 кг/см², пористость до 4,4%.

Сила адгезии с асфальтобетоном начиналась с 8,9 кг/см² и доходила до 18,5, но не превышала среднестатистического значения 13,2 кг/см².

Сила внутреннего сцепления частиц при длительном воздействии в среднем составляла 11,8 кг/см² и при мгновенном воздействии – 32,4 кг/см².

Плотность чистого речного или искусственного льда колеблется от 0,9072 до 0,9171 т/м³, теплоемкость от 0,4132 до 0,5061 кал/кг град, а скрытая теплота плавления от 75,1 до 80,19 ккал/кг [46, с. 115-121].

Таблица 1.1 – Характеристика снега

Характеристика снега	Пределы колебаний плотности снега, т/м ³	Средняя плотность снега, т/м ³	Применение
Не окученный, чистый, свежавыпавший	0,115-0,125	0,12	Возраст слеживания до 24 ч
Свежавыпавший, после окучивания лопатами	0,18...0,22	0,2	$t = -2^{\circ}\text{C}$
Лежалый, собранный со дворов, загрязненный, после окучивания лопатами	0,23...0,29	0,26	Возраст слеживания от 1 до 15 дней
Собранный с улиц и дворов с малым движением, лежалый, после окучивания, грязный,	0,32...0,36	0,34	-
Много лежалый, с небольшой сколкой с дорог с интенсивным движением, очень грязный, после перевалки лопатами	0,45...0,48	0,46	Возраст слеживания больше 15 дней
Сколотый на улицах	0,69...0,77	0,73	-
Перевалованный отвалом снегоочистителя, свежавыпавший,	0,210...0,284	0,25	$t = -2^{\circ}\text{C}$
Поданный погрузчиком шнековыми питателями на транспортер, свежавыпавший	0,24...0,267	0,254	$t = -2^{\circ}\text{C}$
Свежавыпавший, загруженный погрузчиком в кузов автомобиля	0,254...0,3	0,28	$t = -2^{\circ}\text{C}$
Свежавыпавший, загруженный погрузчиком в кузов транспортного средства	0,26...0,3	0,28	$t = -2^{\circ}\text{C}$
Свежавыпавший, загруженный в кузов роторным погрузчиком	0,3...0,4	0,35	$t = -2^{\circ}\text{C}$

Сила сцепления чистого льда с бетонным покрытием может меняться от 7,97 до 15,8 кг/см² и ее средняя величина достигает 11,99 кг/см². В то же время изменение напряжения при сжатии от 11,8 до 125 кг/см², при разрыве от 5,4 до 19,5 и при срезе от 5,98 до 12,4 кг/см² считается разрушающим.

Сравнение физико-механические свойства чистого льда и гололедицы, выросшей на несущем слое дороги, можно увидеть, что механическая прочность гололедицы выше показателей льда, получившегося в естественной

среде, т.е. в результате только температурных тепловых явлений.

Показатели механической прочности любого льда увеличиваются с уменьшением температуры окружающего воздуха, в связи с чем сравнивать характеристики разновозрастного льда можно лишь при одинаковых температурах.

На основании данных проф. Л.М. Гусева [12, с. 17-24], для речного льда можно написать уравнение, определяющее величину нагрузки, разрушающей лед при срезании:

$$\tau_{\text{ср}} = \tau_0 - 0,23 \cdot t, \text{ кг/см}^2, \quad (1.3)$$

где t – температура льда, град;

τ_0 – постоянная; для чистого льда при $t=0^\circ\text{C}$ $\tau_0=6,2 \text{ кг/см}^2$ и для льда с поверхности городских дорог $\tau_0=14 \text{ кг/см}^2$.

На рисунке 1.3 показана зависимость сил когезии льда от толщины ледяной пленки и температуры при отрыве.

Таким образом, учитывая всё вышеизложенное, можно отметить существенную значимость работы по разработке методики и коммунального оборудования для разрушения СЛЮ на эксплуатируемых дорогах и тротуарах, а также для аэродромной, дорожной, строительной и других производственных отраслей Республики Казахстан.

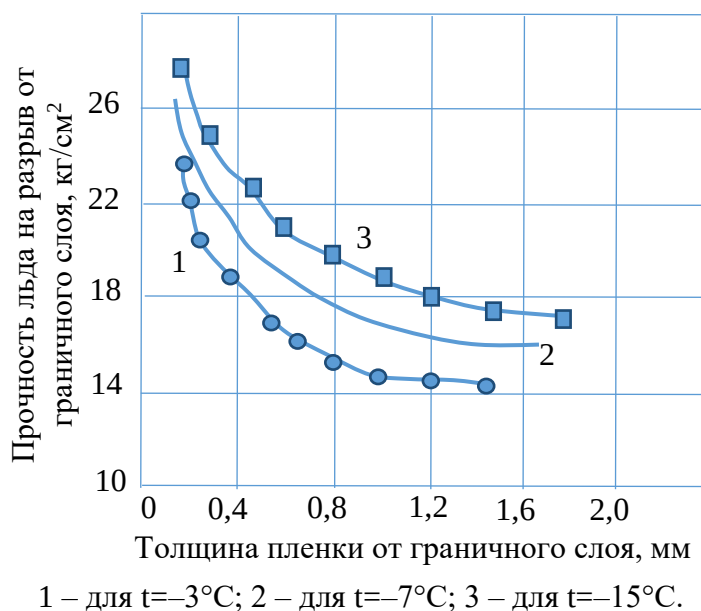


Рисунок 1.3 - Зависимости толщины ледяной пленки и прочности льда на разрыв от температуры

В результате анализа и обработки ранее полученных результатов, было принято решение разработать новое оборудование (преимущественно навесные рабочие органы на любой транспортной базе), способного обеспечить зимнее содержание дорог и городских территорий, а также

разрушать СЛО, оставляя покрытие тротуаров и дорог без повреждения.

Соответственно, качество очистки территорий от СЛО будет на первом плане вместе с вопросами уменьшения энергоёмкости, стоимости и взаимозаменяемости разрабатываемого оборудования [11, с. 15].

1.2 Свойства льда, как объекта механической разработки

Гололёд присущ дорогам при их эксплуатации в условиях зимы и содержит в своем составе все существующие СЛО, способных привести к уменьшению коэффициента сцепления - искусственные обледенения, таким, как снежный накат, объединенные с естественными обледенениями, к таким, как гололедица.

Концентрация СЛО на некоторых отрезках автодорог и тротуарах создают небезопасные условия передвижения отдельных людей и транспорта, так как на обледенелых дорогах сбрасывается скорость передвижения и, наоборот, повышается себестоимость всех перевозок, количество травм пешеходов и ДТП.

Поэтому проведение различных мероприятий, обеспечивающих непрерывную безопасную работу наземного транспорта при работе на зимних дорогах, к которым можно отнести и борьбу со скользкостью, и ликвидацию СЛО на эксплуатируемых трассах, является важной и основной задачей.

Остатки гололеда и некачественная уборка снега с проезжей части, негативно сказываются на пропускной способности дорог в больших населенных пунктах.

Основными причинами такого явления стало отсутствие противогололедных мероприятий подготовки дорожной поверхности, ее всевозможные дефекты и неровности и, конечно, СЛО (валы) на укатанной поверхности.

Теплофизические свойства и метеорологические изменения погодных условий в зоне эксплуатируемых дорожных структур, влияющих на состояние покрытия дорог, способствуют формированию предпосылок для появления гололедицы.

Гололедица и скользкость регулярно образуются на дорогах с колебанием примерно 5-50 случаев в году.

Превращение дождевых капель в ледяные при их замерзании, морось, туман и т.п. явления, сопровождающие понижение температуры и оседающие на несущем покрытии, служат общим основанием появления гололеда на несущем слое дороги.

Перемена окружающей температуры в интервале от +5 до -19°C образует ледяную корку, причем более половины случаев образования приходится на интервал от 0° до -5°C, другим состояниям температуры соответствуют около 75% образований наледи при интервале +3...-7°C, а при интервале +3...-13°C ледяная корка образуется в 87% случаев.

Также большое влияние на условия льдообразования оказывает относительное естественное увлажнение воздуха. 95% случаев формирования

гололедицы на несущих покрытиях дорог происходило при значениях влажности (w) в интервале 71 - 100%, а в интервале $w=81-100\%$ - в 90% случаев.

Капли незамерзшей влаги, достигающие размерами 2 мм, содержится в околоземном объеме воздуха в условиях высокой влажности и минусовых, до -5°C , значений температуры.

Чем ниже температура, тем мельче объем незамерзших капель: туманообразная незамерзшая вода и морось, достигающие диаметра капель не более 0,3 мм, формируется в минусовых значениях температуры до $t_b=-11^{\circ}\text{C}$; переохлажденный туман или влага в виде густого пара, формируются уже с наступлением более низких значений температуры $t_b=-30^{\circ}\text{C}$.

Наибольшая вероятность начала формирования гололедных отложений наблюдается через 1,5...3 часа после изменения погодных условий.

Лёд представляет из себя ни что иное, как дождь (воду), или растаявший снег, перешедшие из жидкого состояния в твердое. Также в ледяную фракцию может превратиться быстро уплотненный снег, при температурах, близких к 0°C .

Термально-механические условия оказывают большое влияние на микроструктуру естественного льдообразования.

Ледяной кристаллик, как правило по размерам находится в диапазоне 1-20 мм, при этом имея различную форму, меняющуюся от пропорциональной до вытянутой.

С изменением толщины снежно-ледяного покрова, особенно в пластах, которые спускаются с гор под действием гравитационных сил, деформации ползучести могут сопровождаться динамической рекристаллизацией и развитием текстуры, что ведет к тому, что микроструктура льда становится сложной.

При использовании льда в качестве моделей, учитывают его изменяемые свойства и регулируемую структуру, зависящих от состава и состояния воды, температуры и условий нагружения.

Если рассматривать лед исходя из его напряженно-деформированного состояния как объект разрушения, то он может иметь пластические или упругие свойства при изменении вышеперечисленных параметров.

При средней анизотропии лед будет вязкий.

Почти на 30% отличается модуль Юнга отдельных кристаллов при близких к точке таяния температурах, и может изменяться от 8,6 ГПа по наиболее уступчивому направлению, до 12 ГПа по наименее уступчивому.

Величины произвольно расположившихся многокомпонентных кристаллов находятся в интервале стандартных показаний коэффициента Пуассона и модуля Юнга, варьируясь от 9,0 МПа до 0,34, при -5°C [12, с. 17-26].

Рекомендованные для использования в практических расчетах основные ледовые физико-механические характеристики даны в таблице 1.2

Лед, при проведении исследований, выглядит как модельный материал

с различными свойствами и регулируемым строением, которые могут изменяться с изменением температуры, условий приложения сил и состава воды, а сам лед при этом может иметь пластические или упругие свойства, и из условий напряженно-деформированного состояния его можно представить, как объект разрушения [11, с. 16-17; 12, с. 25-28].

Разработка моделей разрушения и деформации льда, а также исследование его физических и механических характеристик считается наиболее важным направлением решения проблем механики и физики льда.

Таблица 1.2 - Физические и механические показатели льда

Показатель	Величина
Предел прочности на растяжение, Па	$1,20 \times 10^6$
Модуль упругости, Па	$0,67 \times 10^9$
Деформация разрушения	0,012
Пуассона коэффициент	0,34
Модуль объемного сжатия, Па	$5,20 \times 10^9$
Предел текучести, Па	$2,50 \times 10^6$
Предел прочности на сжатие, Па	$4,80 \times 10^6$
Модуль сдвига, Па	$1,87 \times 10^9$
Плотность, кг/м ³	910,0
Модуль Юнга, Па	$5,00 \times 10^9$

К примеру, у «свежезамороженного» льда коэффициент так называемого отскока, равен 0,85, больше, превышая коэффициенты стали и бильярдных шаров, но с увеличением возраста льда по истечении определенного времени (трое суток), этот же лед при отскоке разбивается на мелкие кусочки, как канифоль.

Несоблюдение технологического процесса очистки свежавыпавшего снега с покрытий эксплуатируемых дорог, а также непредсказуемая смена метеорологических условий иногда являются причиной наличия на участках уже очищенных полос движения уплотненных накатов снега. Чем быстрее будет убран уплотненный снег, тем меньше вероятность перехода его состояния в лед. Поэтому круглосуточное и трудоемкое поддержание работоспособности автомобильных дорог в любых погодных колебаниях осадков и температуры, является неотъемлемой частью условия их непрерывной эксплуатации [44, с. 178-190].

1.3 Обзор и анализ известных способов, оборудования и технологий для разрушения тонкого слоя льда на автомобильных дорогах

Обеспечение безопасной зимней эксплуатации автомобильных дорог обеспечивается следующими работами: осуществление доступа дорожного полотна для сцепления и контакта с шинами наземного транспорта; разрушение и смет СЛО с несущего яруса дороги; профилактика наката СЛО.

Существуют достаточно эффективные и разнообразные, в зависимости от температурных условий, способы предупреждения и сокрушения наледи.

Способы делятся на механические, химические, фрикционные, термические и комбинированные, например, химико-фрикционные, причем использование каждого из них имеет свои плюсы и минусы, своих сторонников и противников.

Рассмотрим коротко каждый из вышеперечисленных способов для полноты восприятия и ясности процессов зимнего содержания городских территорий и автодорог.

Наиболее распространенным во многих странах способом долгое время был и остается фрикционный (рисунок 1.4), простой, доступный, за счет абразивных свойств различных искусственных или природных материалов, повышающий шероховатость дорожной поверхности до приемлемого коэффициента ее сцепления с автопокрышками.

Фрикционными могут быть любые доступные природные и техногенные сыпучие материалы.

Наиболее ощутимы тормозные свойства абразивных материалов на заснеженных трассах и при низких температурах, когда активность химических реагентов практически сведена к нулю и их распределение по обледенелым поверхностям дорог становится неэффективной. Расход абразивных материалов на 1 полосу движения невелик, например, песка достаточно до 340 кг на км. Нанесение фрикционных материалов оказывает мгновенный эффект, своим присутствием увеличивая шероховатости поверхности СЛЮ, а это является основным преимуществом в экстренных случаях и в течение спасательных операций, когда пусть и временное, но увеличение сцепления транспортных колес с дорожным полотном позволяет разгрузить транспортные пробки и обеспечить безопасность транспортных потоков на дорогах.

Фрикционному способу присущи следующие недостатки: значительная затратность, в т.ч. на транспортные расходы, перевозку и распределение материалов, по окончании зимнего сезона – на их уборку; наличие специализированных машин для распределения фрикционных материалов, краткосрочный эффект от применения, так как фрикционные материалы достаточно быстро отбрасываются с дороги колесами автомобилей, необходимость уборки насыпанного на лед фрикционного материала по окончании зимнего периода, для предотвращения загрязнения улиц и близлежащих территорий насыпанным зимой песком и мелким щебнем, активное пылевыведение при проезде транспорта и в ветреную погоду.

Также этот способ способствует чрезмерному накоплению СЛЮ на проезжей части дорог и тротуаров, поскольку они не убирались после выпадения.

Химический способ связан с распределением по СЛЮ химических растворов или солей (реагентов) (рисунок 1.5). В настоящее время к применению предлагается широкий выбор противогололедных средств как в

твердом, так и в жидком состоянии.

Дождевание реагентами посредством специальных распределителей производится по прошествии некоторого периода выдержки.

Длительность и периодичность нанесения реагентов на дороги задает суммарная продолжительность насаивания снежно-ледяной смеси на аналогичной дороге, но без нанесения реагентов. Чтобы исключить спрессовывание накопившегося снега в периоды потепления, при «нулевой» или близкой к ней температуре, следует успевать наносить реагенты за минимальное время.

На сегодняшний день, так и не сложилось единого мнения по поводу эффективности и безвредности использования песочно-соляной смеси и реагентов. Большинство экспертов придерживается мнения, согласно которому, при таянии снега и льда реагенты обязательно окажутся в почве. Более того, какая-то их часть достигнет грунтовых вод.

От попадания соли на части металлического кузова машин, происходит их ускоренная коррозия, особенно днища и крыльев автомобиля. Ну, и, разумеется, автомобильные покрышки и наша обувь также постепенно приходит в негодность после попадания на них части реагентов.

Химические реактивы, как и все агрессивные материалы, таят в себе скрытую опасность для окружающей среды, показывая при этом неплохие результаты в борьбе со снегом и льдом.

Для достижения наибольшей эффективности действия реагентов, продолжительность процедуры очистки от СЛЮ должна соответствовать продолжительности насыщения граничного соответствия масс раствора к вступающей во взаимодействие массы снега (рисунок 1.6) [11, с. 17-22].



Рисунок 1.4 – Ручной способ распределения фрикционных материалов



Рисунок 1.5 – Распределение на полотне дороги твердых реагентов

Химический способ борьбы со СЛЮ на дорожных покрытиях путем применения хлористых соединений, через почву или при прямом контакте оказывает на зелёные естественные и искусственные насаждения вредное воздействие.

Причем прямой контакт может быть осуществлен при очистке дорожного полотна от засоленных СЛЮ при перебрасывании их на разделительную полосу или обочины, засаженные зелеными насаждениями.

Соляной рассол просачивается в почву и далее, в зону нахождения травы и кустарников.

Для снижения вероятности спровоцированной химическими реагентами гибели насаждений и деревьев, рекомендуется высаживать их не ближе 9 м от кромки обочины дороги.

Замечено, что на плодородных почвах, особенно богатых фосфатами, повреждения растительности происходят меньше.

Так как наибольшее применение реагентов происходит в крупных населенных пунктах, то и наибольший наносимый растительности вред наблюдается в их окрестностях, в местах разливов и застоя талой воды.

Наиболее вредное действие соли выражаются в коррозии металлических частей автомобилей, дорожных и коммунальных машин, а также металлических стоек ограждений и дорожных знаков.

Раствор хлористого кальция при одинаковой концентрации обладает меньшей агрессивностью, чем раствор хлористого натрия.

Комбинированное применение материалов с повышенным сцеплением, например, песка, перемешанных с затвердевшими хлоридами в определенных соотношениях, оказалось самым применяемым.

В любом случае, расход от 200 до 400 грамм пескосоляной смеси материалов на 1 м² очищаемой поверхности автодороги, в зависимости от степени ее опасности, является очень затратным.



Рисунок 1.6 – Распределение жидких реагентов

Все фрикционные компоненты, можно распределять по дороге не смешивая с химическими солями, их можно увлажнить ими при засыпке в пескостратель, или, если есть возможность, перемешать между собой в разных пропорциях (доля песка от 1 до 4 частей) [7, с. 11-15].

Так как без нагрева заставить абразивные материалы быть в сцеплении с ледяной коркой практически невозможно, то выгоды, получаемые от их применения, получаются временными.

Крупность песка также влияет на его способность внедрения в тело ледяных массивов и при значительных минусовых температурах.

Сцепление с дорогой при крупном песке повышается до приемлемого уровня, а вот мелкий песок рациональнее применять при «околонулевой» температуре.

Коэффициент сцепления зависит также и от величины расхода смеси.

Чтобы абразивная смесь держалась на ледяной корке более устойчиво, ее можно заблаговременно нагреть, увлажнить жидкими (CaCl_2 или NaCl) реагентами или водой (рисунок 1.7).

Распространенным способом является нагрев абразивной смеси, желательно из крупных частиц, до высокой температуры перед ее распределением.

Горячая, нагретая абразивная смесь, попадая на поверхность ледяной корки, начинает, в зависимости от температуры, растапливать лед своими частичками, которые начинают тонуть в растаявшей воде, а потом там и замерзают, вмерзая в лед. Предположим, что вмерзшие в лед крупинки абразива задержатся в нем намного дольше, чем крупинки, разбросанные без нагрева. При увлажнении абразивной смеси водой или солями, мокрые крупинки смеси интенсивнее намерзают на ледяную поверхность, тем самым прочно на ней закрепившись. Возможно также включение в структуру несущего полотна некоторых химических элементов придающих покрытию антигололедные свойства и не дающих достичь на нем большой адгезии льда, что является перспективным направлением строительства дорожного полотна.



Рисунок 1.7 – Движение автомобилей по обработанному реагентами участку

Антигололедный эффект таких материалов и их гидрофобные свойства могут усиливаться при сокращении значения адгезии ледяного покрытия к несущему дорожному полотну, и позволяют уменьшить энергозатраты на очистку поверхности от СЛО и предотвращают повторное образование ледяной корки при достижении температуры 0°C [47, с. 157-164; 48, с. 305-306; 49, с. 51-58].

В процессе приготовления асфальтобетонных и черных смесей в их состав вводится «Грикол», позволяющий сократить при эксплуатации дорожного покрытия расход реагентов и других противогололедных материалов, снизить до 30% их коррозионное воздействие.

Термический (тепловой) метод борьбы с зимним обледенением применяется преимущественно двумя способами:

- подогрев заложенными в асфальтобетонные покрытия нагревательными элементами дорожной поверхности и удаление этим СЛО;
- удаление СЛО с дорожного покрытия струей тепловых машин (рисунок 1.8).

Подогрев дорожных покрытий, как способ борьбы с зимним обледенением дорог очень затратен и требует высоких капиталовложений и дорожно-эксплуатационных расходов. В мировой практике такой способ применяется на небольших участках опасных дорог небольшой протяженности и интенсивным движением.

В Казахстане по экономическим соображениям этот способ производственного применения не получил и испытывался только на опытных участках [11, с. 22].

Нагревательными элементами для подогрева покрытий служат трубы, по которым циркулирует жидкий теплоноситель (чаще всего нагретое машинное масло), или кабели и сетка с высоким сопротивлением, по которым пропускается электрический ток.

Бетон с токопроводящими элементами делится на два типа:

железобетон, с внедренным токопроводящим фиброволокном и бетон, с заполнителями, имеющими токопроводящие свойства.

Первому типу, вследствие слабого контактирования поверхностей «волокно к волокну», присущи низкая проводимость (удельное сопротивление ≈ 100 Вт·см), но достаточно высокая механическая прочность. Второй тип при сжатии обладает относительно низким пределом прочности, и имеет высокую проводимость (удельное сопротивление $\approx 10...30$ Вт·см).

Токопроводящие добавки, типа сажи и кокса, увеличивают водопоглощение и ослабляют механическую прочность.

Недостаточный эффект в условиях практического применения является основным недостатком перечисленных систем.

На практике до сих пор применяется удаление СЛО струей тепловых машин (рисунок 1.8).

Тепловым аэродромным машинам при удалении СЛО подогревом покрытий автомобильных дорог присущи следующие недостатки [11, с. 22]:

- образование транспортных «заторов» вследствие остановки движения транспорта в месте работы тепловой машины, которые необходимо периодически пропускать и регулировать, останавливая работу разогретого сопла тепловой машины;
- высокий удельный расход топлива тепловой турбины при малой производительности самой тепловой машины, ставящий тепловой способ в ряд дорогих для эксплуатации и применения;
- сильная шумность работы тепловой машины, а также неконтролируемое отбрасывание тепловой струей кусков льда на значительное расстояние, что делает их использование невозможным в городских условиях;



Рисунок 1.8 – Тепловая установка на базе автомобиля в различном исполнении

- вероятность образования местных повреждений из-за выгорания органических вяжущих материалов на дорожных покрытиях, вследствие применения тепловых машин;

- возникновение «отбойного эффекта» в местах действия струи тепловых машин на дорожном покрытии, огражденном криволинейным брусом или

блоками или на мостах со сплошными перилами, который характеризуется обратным инерционным отбрасыванием на дорогу сметенных ледяных частиц.

Указанные недостатки препятствуют применению тепловых машин на автомобильных дорогах республики Казахстан для борьбы с обледенением.

Однако ведётся работа по созданию и компоновке новых, соответствующих условиям безопасности и качеству уборки снега тепловых машин, которые будут применены для тепловой очистки автомобильных дорог.

Наиболее широкое распространение получило механическое воздействие на лед для его разрушения и смета.

Механическое воздействие с целью разрушения ледяного наката на дорожном покрытии выполняется посредством использования машин с автономным двигателем или буксируемых (навесных), оснащенных ударным, виброударным или скребковым оборудованием, а также органами раздавливающего или срезающего действия для разрушения целостности и очистки льда с дорожного покрытия (рисунок 1.9) [14, с. 148-156; 15, с. 17-19; 16, с. 7-11; 37, с. 9-11].

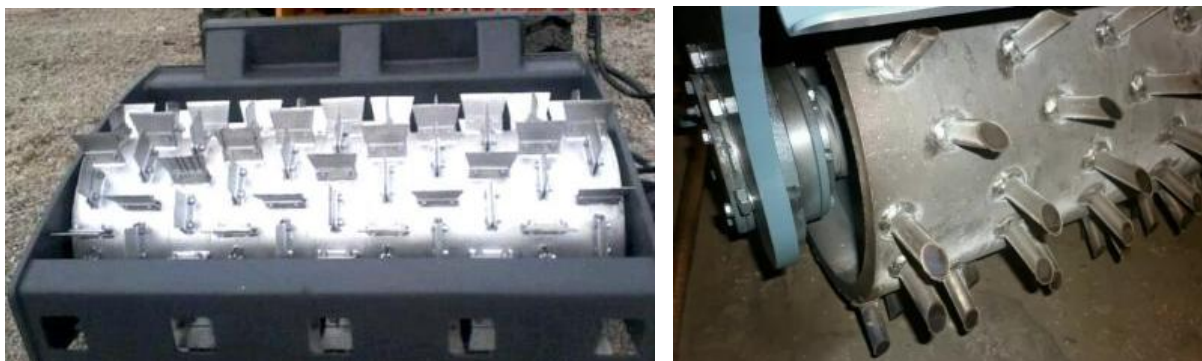


Рисунок 1.9 – Комбинированные виброкатки для удаления льда

Для разрушения или сдвига толстых участков СЛО как раз и применяются такие машины.

Для разрушения и смета тонких ледяных слоев на дорожном покрытии механический способ является пилотным и в последнее время усиленно начал развиваться сразу в нескольких странах. Этому способствует его низкая стоимость и способность к разрушению прочной адгезии льда, смерзшегося с асфальтобетоном, не разрушая последнего.

Механическое воздействие на лед часто комбинируется в сочетании с химическим побуждением, когда предварительно реагентами ослабляют СЛО, и сметают его с полотна дороги специальными коммунальными машинами.

Способ воздействия на СЛО и тип рабочего органа делят известные конструкции коммунальных машин для зимнего содержания дорог на:

- статические (катки с металлическими ребрами);
- плужные или срезающие, удаляющие свежеснеживший снег с очищаемой площади при помощи отвала (ножи автогрейдеров, бульдозеров, уборочных машин, роликовые диски), а удаление уплотнённых СЛО

возможно только с установкой специальных ножей.

Механическим способом оперативно удаляется основной массив снега, что повышает общую производительность способа, но вот тонкий слой ледяного налета остаётся на дорожном покрытии и может быть убран каким-либо другим способом, чтобы не разрушить дорожное полотно;

- захватываемая полоса для уборки снега равна ширине отвала, например, известно снабжённое закреплёнными на корпусе двумя размещёнными между цилиндрическими и лотковыми щётками плужками рабочее оборудование снегоуборочной машины;

- роторные, фрезерные и другие отбрасывающие снег на значительное расстояние при помощи метателя, перебрасывателей и шнеков (рисунок 1.10);

- фрезерующие или фрезерные (фрезы, шнеки, оснащенные зубьями, щетки с усиленным ворсом), разрушающие и срезающие СЛО большой плотности вращающимися ножами (рисунок 1.11);

- вибрационные (с вертикальными, горизонтальными и наклонными колебаниями рабочих инструментов);

- динамического или ударного действия (с рабочими органами, движущимися поступательно, и роторного (вращательного) типа), разрушающие разрабатываемый материал специальными бойками, при этом энергоёмкость разрушения льда может быть значительно снижена за счёт его склонности к хрупкому скалыванию;

- щёточные, удаляющие раздробленный материал и после химического, и после механического воздействия (рисунок 1.12);

- щёточно-фрезерные, по конструкции, практически не отличающиеся от щёточных и использующие для фрезерования льда и уплотнённого снега щётку с ворсом, изготовленным из металлических или из неметаллических упругих материалов;

- комбинированные, использующие принципы работы двух или нескольких вышеуказанных рабочих органов (например, статического и вибрационного действия с формированием напряжений сдвига в зоне контакта, созданием циркулирующей паразитной мощности или различных скоростей движения рабочих инструментов).

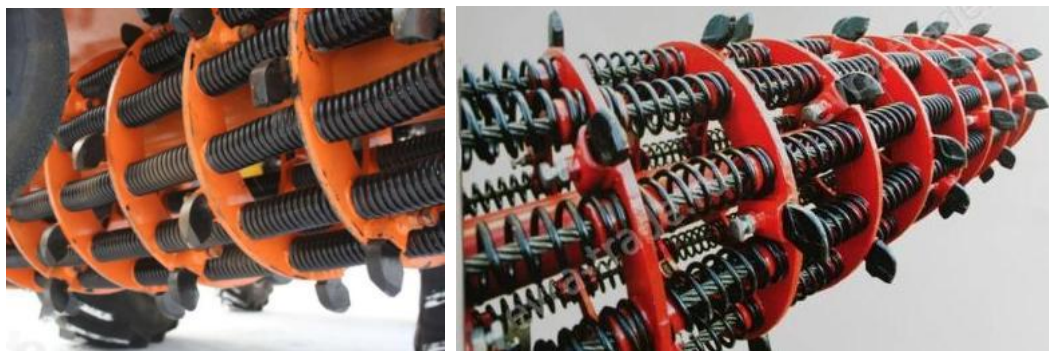


Рисунок 1.10 – Гибкий рабочий орган ударно-скалывающего действия



Рисунок 1.11 – Фрезерный жесткий и плавающий рабочий орган

Имеются результаты сравнения энергетической эффективности щеточного рабочего органа для удаления льда и рабочего органа ударного действия, которые показывают значительное преимущество последнего (рисунок 1.13) [11, с. 28; 14, с. 148-156; 15, с. 4-19].

В зависимости от направления движения рабочих инструментов ударного и вибрационного воздействия их можно разделить на устройства с прямолинейными и с пространственными траекториями движения.

Из машин со статическим рабочим органом определенный интерес представляют машины раздавливающего действия. Это, в основном, дорожные катки с видоизмененными вальцами.



Рисунок 1.12 – Коммунальная щетка с металлическим ворсом

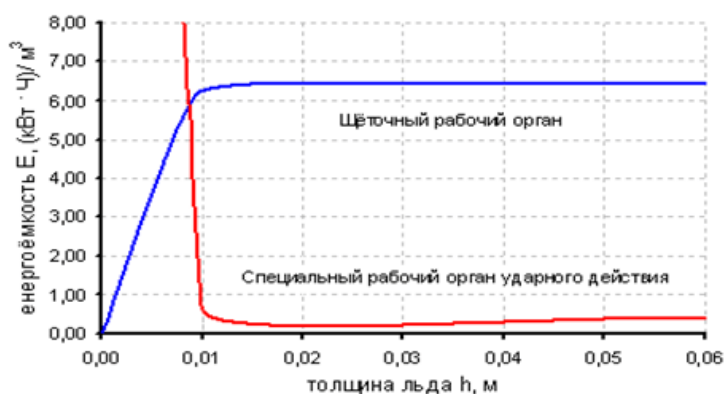


Рисунок 1.13 – Сравнительная энергоемкость процесса удаления льда щеточным РО и РО ударного действия

Пионерные работы в этом направлении выполнены в Карагандинском техническом университете профессором Кадыровым А.С. и имеют определенную перспективу, например, ими предложена коммунальная льдоуборочная машина (рисунок 1.14), а именно вальцовый льдоскалыватель для раздавливания СЛО на дорожных покрытиях при очистке дорог в зимнее время [37, с. 9-11].

Вальцовый льдоскалыватель состоит из одновальцового самоходного катка, включающего приводные задние колеса и передний гладкий валец для уплотнения грунта. Рабочим органом данной машины является серийный вальцевой каток с пневматическими ведущими шинами 2 (рисунок 1.14), на металлическую обечайку вальца 1 которого приварены определенным способом ориентированные и стыкуемые на середине горизонтали вальца полосы-резцы 3. При движении колеса 2 по снежно-ледяным образованиям, смонтированные на вальце 1 полосы-резцы 3, за счет веса катка раздавливают, прорезают и скалывают лед, сдвигая его и слегка перемещая в сторону.

Таким образом, рабочее оборудование для вальцового льдоскалывателя позволяет использовать вальцовые катки в зимнее время, когда они обычно простаивают [37, с. 9-11].

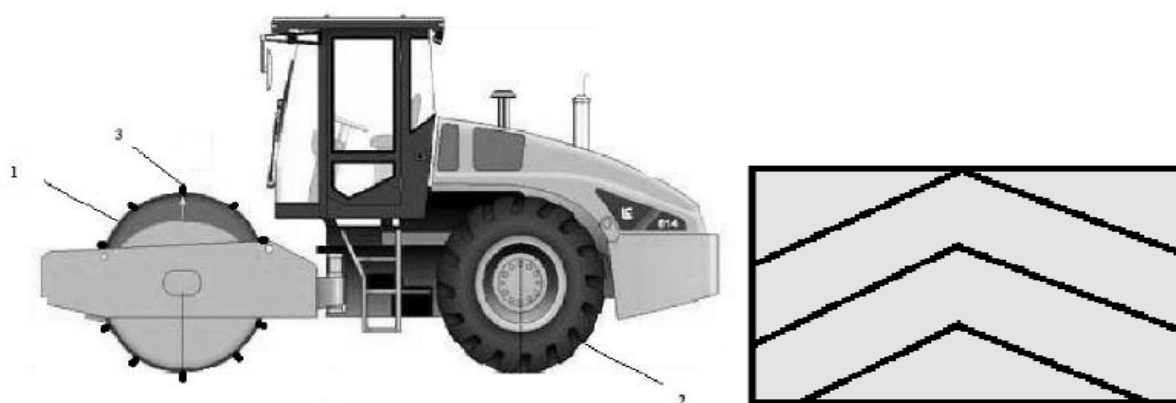


Рисунок 1.14 – Дорожный каток с вальцом для скалывания льда

Примечание – Адаптировано из источника [37, с. 1-4]

Диссертантом (с соавторами) также рассматривался вопрос раздавливания тонкого льда дорожным катком, но оборудованным гибким вальцом с изменяемой геометрией. Исследование процесса удаления СЛО раздавливанием гибкими вальцами катков дало положительный результат, но практическое применение тихоходных катков в Казахстане в зимнее время в сильные морозы весьма проблематично и аварийноопасно. Поэтому было принято решение остановиться в исследовании раздавливающих лед катков с различной конфигурацией вальцов и продолжить работу над навесным рабочим оборудованием динамического действия и щеточным оборудованием скалывающе-срезающего действия [11, с. 29-30; 44, с. 177-191; 45, с. 7-17; 50].

Щеточные рабочие органы используются круглый год, независимо от климатических условий. Учитывая, что щетки изначально проектировались к

летнему циклу работ по содержанию дорог в чистоте, следует поработать над их адаптацией к зимним условиям эксплуатации.

Машины с рабочим оборудованием динамического (ударного) действия, помимо классификации по другим отличительным признакам, по результату действия делятся на две независимые группы: машины, одинаково разрушающие при разрушении и лед, и дорожное покрытие; и машины, разрушающие лед, но щадящие дорожное покрытие.

Рассматривать здесь дорожные фрезы, довольно часто применяемые для очистки льда, нецелесообразно, так как фреза является основным разрушителем дорожного покрытия.

По результатам проведенного анализа выберем для последующего рассмотрения и более глубокого исследования вращающееся барабанное рабочее оборудование: цепное, дисковое и роторное.

Все они представляют интерес с точки зрения разработки и проектирования нового рабочего оборудования для уборки дорог и тротуаров от СЛО в зимнее время.

Для определения научной новизны принимаемых решений проведем патентную проработку известных решений в области рабочих органов для борьбы с СЛО на тротуарах и дорожном полотне.

1.4 Обзор и анализ известных изобретений для зимнего содержания дорог и тротуаров (рабочих органов для разрушения и уборки льда)

Рассмотрим рабочее оборудование льдоскалывателя по изобретению РФ №2265104, состоящий из скалывающего органа, выполненного в форме диска с равномерно расположенными отверстиями по краю диска и ступицей, комплекта прямоугольных бойков-ударников с отверстиями на концах, закрепленных по обеим сторонам отверстия в диске с возможностью вращения (рисунок 1.15) [51].

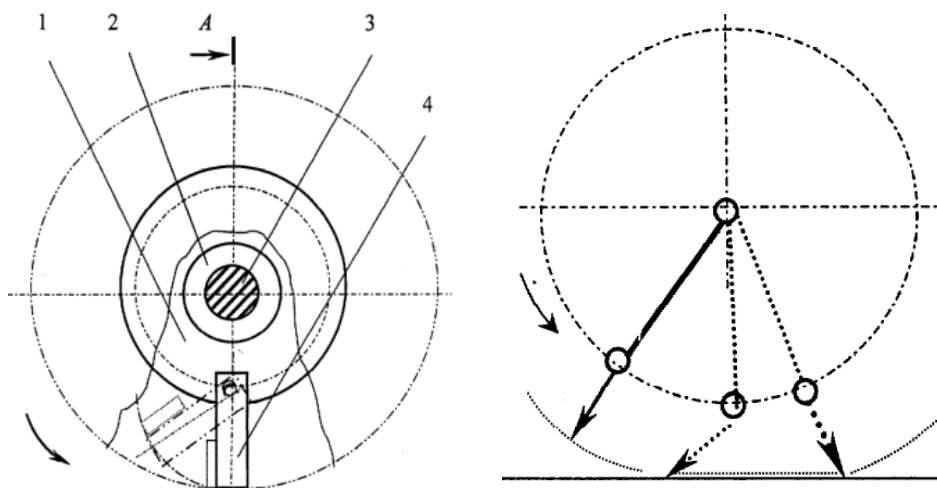


Рисунок – 1.15 Рабочее оборудование льдоскалывателя по изобретению РФ №2265104

Примечание – Адаптировано из источника [51, с. 1-5]

Вращение вала 3, генерирует центробежную силу ударников 4, бьющих по массиву ледяного покрытия, дробя его в мелкую крошку, откидываемую в сторону удара.

Бойки 4, смонтированы попарно-шарнирным монтажом, с возможностью отклонения от радиально-ориентированных координат после удара, предотвращают возможность своей поломки при возникновении препятствия.

Ударник 4 при этом скользит по обрабатываемой поверхности своей рабочей кромкой, соскабливая остатки льда.

Принцип работы конструкции льдоскалывающего оборудования перспективен и доступен к реализации с небольшими изменениями.

Авторами, совместно с диссертантом, также выдвинуты оригинальные идеи по усовершенствованию рабочего оборудования льдоскалывателей в плане задействования других способов разрушения ледовых покрытий (самостоятельных и как дополняющих ударные) и дальнейшего снижения опасности частичного или полного разрушения дорожной поверхности путем использования дробяще-очищающих элементов с присущими упругими свойствами (например, различных типов пружин).

В качестве примера приведем несколько характерных конструкций нового рабочего оборудования, использующего тот же принцип, например, по изобретению SU №1559034 [20, с. 1-3].

Льдоскалыватель представляет собой вращающийся барабан, по периферии образующей которого смонтированы гибкие элементы в виде цепей, установленные с зазором к оси барабана (рисунок 1.16).

Центробежные силы, возникающие при вращении такого барабана, воздействуют на гибкие элементы-цепи, заставляя их занимать радиальное положение и, при соответствующем вращении, наносить последовательные удары по ледяному покрытию дорожной поверхности, дробя тонкий лед и отскакивая от дорожного покрытия.

Направление вращения барабана совпадает с направлением вращения колёс привода машины.

Между дорожным покрытием и вращающимся барабаном конструктивно необходим зазор, в который после соударения с дробимым льдом раз за разом будут протаскиваться гибкие элементы в виде цепей.

При изменении поступательной скорости льдоскалывателя, для сохранения эффективности очистки дорог ото льда потребуются соответствующее изменение частоты вращения барабана, позволяющее разнообразить технологические режимы очистки дорожного полотна ото льда.

При небольшой скорости рабочего движения льдоскалывателя и высокой частоте вращения барабана с гибкими инерционными элементами обеспечивается наиболее полное разрушение ледяного покрытия, разбиваемого в мелкую ледяную крошку, сметаемую коммунальной щеткой.

И наоборот, при снижении скорости вращения несущего барабана с инерционными гибкими элементами с одновременным повышением скорости

движения льдоскалывателя, совершается лишь частичное разрушение и дробление льда в виде небольших шероховатых следов-углублений от удара цепями. Эти следы позволяют резко увеличить сцепление колёс наземного транспорта на обработанном льду, а также большую производительность льдоскалывателя, при периодическом повторении рабочих проходов льдоскалывателя, так как оставленные ранее следы от удара цепями постепенно зашлифовываются шинами движущегося транспорта.

Применение известного рабочего оборудования позволяет очистить асфальтобетонное покрытие от ледяного налета до сухого состояния, прочность ледяного покрытия на сжатие при этом для температуры $0...-25^{\circ}\text{C}$ ниже примерно на 20% прочности асфальтобетона, что вместе с соответствующей циклической кинематикой вращения цепей обеспечивает предохранение несущего слоя дорожного полотна от касательного и нормального разрушения.

Рассмотренные конструкции рабочего оборудования просты, эффективны и весьма перспективны, однако обладают и рядом недостатков, а именно, они имеют рабочие звенья гибкие, но не обладающие упругостью, что снижает величину ударного воздействия и не позволяет разрушать лед большой толщины, а также оказывает недостаточное по силе прижатие рабочих звеньев цепей к очищаемой от льда дорожной поверхности при протаскивании под барабаном, что не дает возможности применения других видов воздействия, кроме ударного и не обеспечивает регулировки параметров воздействия.

Все это уменьшает эффективность дробления и очистки ледяного наката на дорогах, кроме адгезии обладающего еще и собственной упругостью.

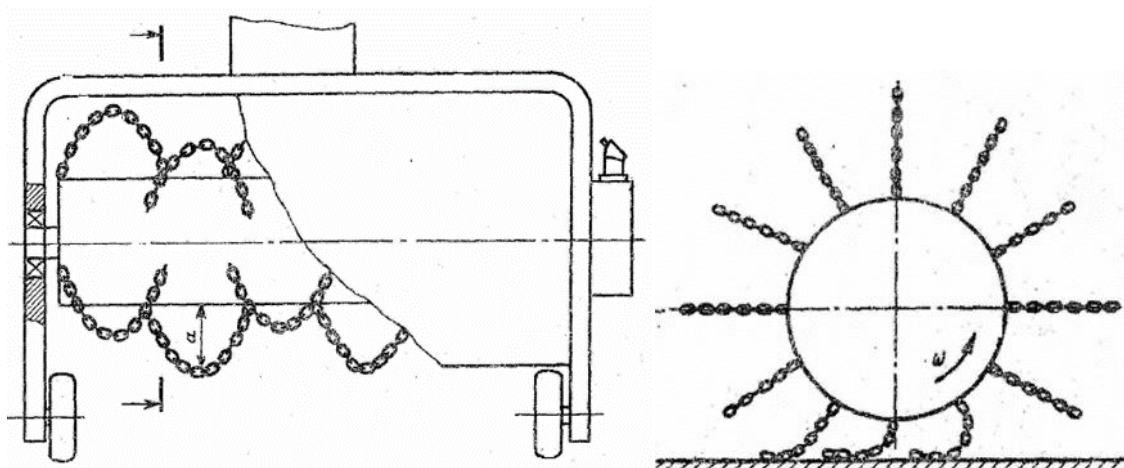


Рисунок 1.16 - Схема рабочего оборудования (с гибкими цепными элементами) для дробления и очистки ледяного покрытия по изобретению РФ № 1559034

Примечание – Адаптировано из источника [20, с. 1-4]

Также рабочее оборудование по изобретению РФ №1765275 может своими острыми кромками конусных насадок нарушить целостность несущего

слоя дороги [52].

Для разрушения и смета слоя ледяной поверхности большой толщины необходимо использование рабочего оборудования с аналогичным принципом действия, но измененной конструкции - с жесткими бойками.

Рассмотрим конструкцию рабочего оборудования по изобретению РФ №2022080 (рисунок 1.17), содержащую горизонтально расположенный вал с закрепленными на концах дисками, смонтированными с эксцентриситетом по отношению к оси вала [21, с. 1-4].

На дисках-секциях смонтированы свободно вращающиеся бойки в виде пластин 8. Дробление ледяного покрытия выполняется в следующем порядке.

Во время перемещения льдоскалывателя к зоне дробления ледяного нароста включаются и приводятся во вращение боковые секции и приводной вал, относительно которого пластины 8 приводятся в радиальное положение, вращаясь на валах 7 [26, с. 1-7; 52, с. 1-3].

Поворот осей 7 с постоянным радиусом вокруг дополнительной неподвижной оси обеспечивается тягами 12.

Оси 7 движутся вдоль радиальных пазов 11, выполненных в боковых дисках 6, во время вращения рабочего оборудования, а их эксцентриситет, по отношению к приводному валу, меняется от максимального при верхнем положении соответствующей оси, до минимального, при их нижнем положении.

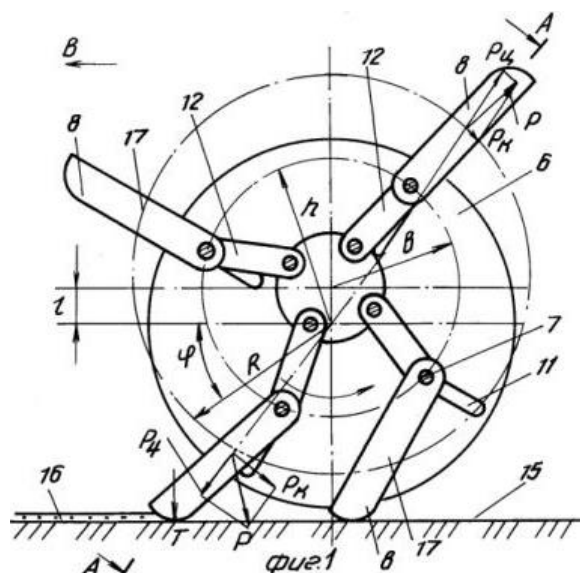
Пропорциональное колебание траектории вращения центров масс бойков 8 вокруг приводного вала определяется изменяемым эксцентриситетом, за счет которого возникают действующие на бойки 8 и приложенные к их центрам масс кориолисовы силы инерции.

Сила соударения нормальна к несущему слою дороги и с большой вероятностью соответствует направлением в данный момент времени кориолисовой силе и равнодействующей центробежной силы, обеспечивая дробление ледяного покрытия за счёт нормальных к несущему слою дороги его ударных напряжений сжатия.

Последующему повороту вала рабочего оборудования после соударения ряда бойков 8 с поверхностью дороги присуще отклонение бойков назад и протаскивание их концов по очищаемой поверхности дороги без нарушения её целостности.

Общим минусом конструкции данного рабочего оборудования является ее сложность и отсутствие гибкости и упругости рабочих звеньев, не в полной мере формирующих требуемое при протаскивании усилие прижатия рабочего звена к обрабатываемому ледяному покрытию и не использующих иные, кроме ударного, подходящие для дробления действия и не имеющие возможности регулировки их параметров.

Рассмотрим конструкцию оборудования для разбивания и очистки ледяного покрытия дорог по Евразийскому патенту на изобретение №020422 или патенту РФ №2463407 (рисунок 1.18) [53, 54].



Примечание – Адаптировано из источника [21, с. 1-5]

Рассмотрим работу устройства. Крутящий момент от вала гидромотора, посредством цепного редуктора, передается на привод 4, вращающегося с определенной частотой во встречном направлении.

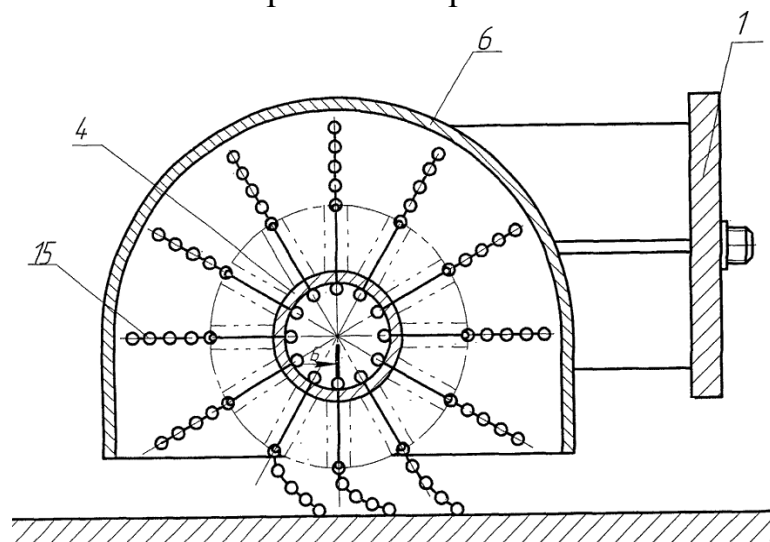


Рисунок 1.18 - Конструкция оборудования для дробления и очистки
ледяных покрытий дорог по Евразийскому патенту на изобретение №020422
и по патенту РФ №2463407

Примечание – Адаптировано из источника [54, с. 1-3]

Чередующиеся удары по обледеневшему покрытию, наносятся инерционными цепями 15, усилием пружин и воздействием центробежных сил, стремящихся занять радиальное положение, дробящими тонкий лед дорожного покрытия посредством деформации сжатия.

Стержневые связи 7 и связанные с ними ударные цепи 15, продольными рядами со смещением на полшага относительно предыдущего ряда смонтированные на наружной обечайке приводного вала, могут каждой ударной цепью 15 раздробить тонкое ледяное покрытие по всей длине соударения с цепью, и увеличить ширину дробимой и очищаемой поперечной полосы покрытия за счет скола льда.

Кратность ударных цепей в поперечной секущей плоскости вала привода 4 должно быть равна 6. В зависимости от шага монтажа цепей 15, а также длины приводного вала 4, зависит число линий резания.

Неразрушенные между линиями скола выступы, разрушаются за счет установленного под углом к оси льдоскалывателя приводного вала, вращающегося вместе с цепями и бойками во встречном направлении, тем самым увеличивая след контакта цепи с бойком после удара.

Каждая ударная цепь 15 после соударения с покрытием отклоняется относительно несущего штыревого пальца и протягивается в промежуток между этим штыревым пальцем и ледяным покрытием дороги.

Радиальную установку инерционных цепей при эксплуатации льдоскалывателя обеспечивают пружины, дающие также возможность уменьшения диаметра вала привода 4, тем самым снижая вес и массу самого льдоскалывателя, а при наезде на крупное твердое и неделимое препятствие позволяют ударным цепям 15 прогибаться, предохраняя конструкцию льдоскалывателя от поломок.

Сплошность разрушения слоя льда при уменьшении поступательной рабочей скорости льдоскалывателя, можно обеспечить увеличением скорости вращения вала привода.

Изменением массы инерционных цепей 15 можно варьировать величиной ударной нагрузки, а расположением или установкой тяг в рядами, с различным продольным количеством, параллельной ориентацией относительно оси вала, с изменяемым шагом установки каждого ряда, с продольным перемещением каждого крепления тяг очередного ряда относительно ранее закрепленных для их «шахматной» установки, обеспечивает каскадное разрушение инерционными цепями 15, сгруппированными к центру приводного вала 4, а менее сгруппированные цепи по краям вала, разрушают лед полукаскадным воздействием, что в совокупности может значительно снизить ударные усилия дробления льда и энергоемкость всего процесса.

Рассмотрим секционную цилиндрическую щетку для дробления и уборки льда по патенту РК №32089 [55], состоящую из отдельных секций с ворсом, собранных в пакет, который дополнительно содержит секции с бойками (рисунок 1.19). Лед скалывается за счет силы удара вращающегося бойка, что позволяет с меньшим усилием прижимать ворс щетки к очищаемой поверхности. Регулируя сборку щетки секциями с бойками различной массы, можно добиться дробления и уборки льда на автодорогах любой толщины.

В цилиндрической щетке для уборки льда по патенту РК № 32090 [56],

состоящей из цилиндрической втулки с равномерно расположенным ворсом, чередующимся с бойками на гибкой связи (рисунок 1.20), скол льда за счет силы удара бойка позволяет с меньшим усилием прижимать ворс 3 к очищаемой поверхности, а это означает его меньший износ, меньшую энергоемкость, более качественный смет и повышение надежности цилиндрической щетки в целом.

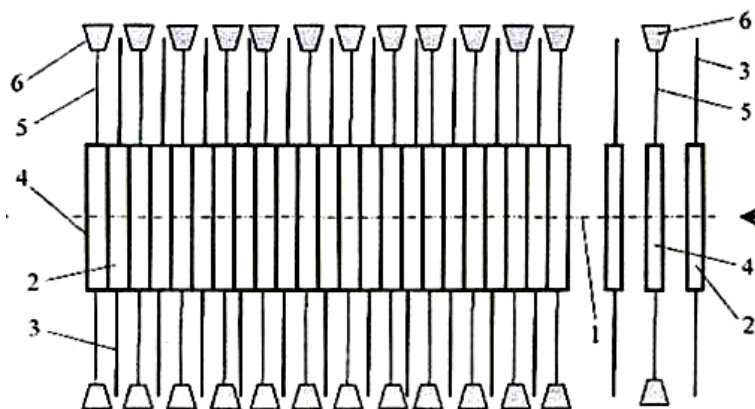


Рисунок 1.19 - Секционная цилиндрическая щетка для дробления и уборки льда по патенту РК №32089

Примечание – Адаптировано из источника [55, с. 1-3]

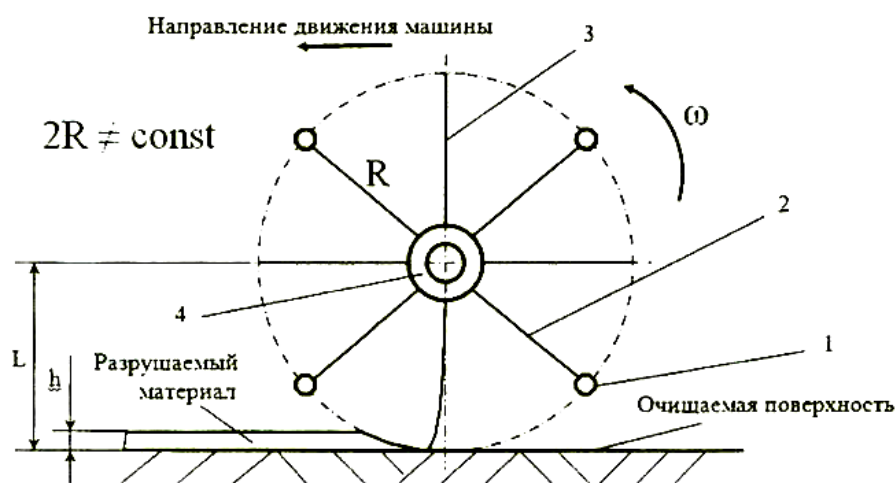


Рисунок 1.20 - Цилиндрическая щетка для уборки льда по изобретению РК №32090

Примечание – Адаптировано из источника [56, с. 1-4]

Рабочее оборудование льдоскалывателя по патенту на изобретение №1677155, состоит из приводного барабана 1, вращающегося вокруг своей оси кривошипа 2, и присоединенных одним концом к нему шатунов 3, другим концом соединенных с гибкими тягами 5, на которых смонтированы разрушающие элементы 6 (рисунок 1.21) [57]. Лед разбивается от ударов разрушающих элементов, сила ударов которых может регулироваться

частотой оборотов барабана или массой самих разрушающих элементов.

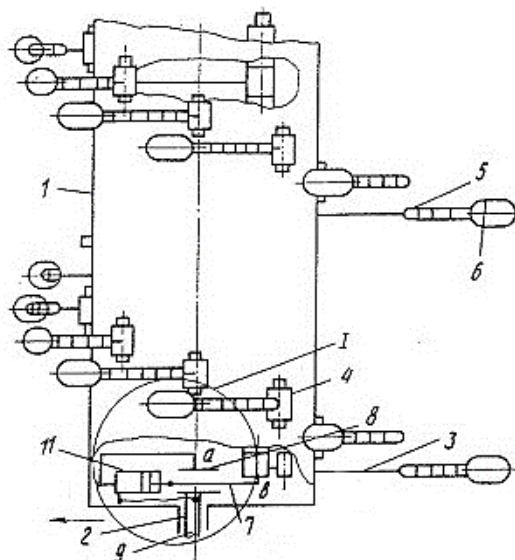


Рисунок 1.21 - Устройство для борьбы со льдом по патенту №1677155

Примечание – Адаптировано из источника [57, с. 1-3]

Конструкция перспективна в качестве аналога при разработке новых устройств, так как содержит очень много положительных и интересных конструктивных решений.

Рассмотрим устройство для борьбы со льдом по патенту №1430445 [58], включающее продольный вал с шахматно зафиксированными на нем упругими тягами 2, которые, в свою очередь, связаны с заостренными ударниками 3 со смонтированными на них упругими захватами 4. Добавочно, по тягам 2 скользят грузы 5 (рисунок 1.22) [26, с. 1-7; 52, с. 1-3].

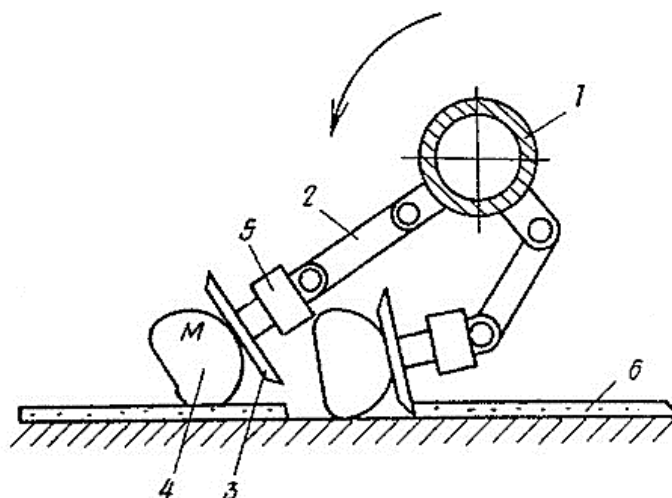


Рисунок 1.22 - Устройство для борьбы со льдом по патенту №1430445

Примечание – Адаптировано из источника [58, с. 1-3]

Эластичные элементы с ударниками, вращаясь валом, своей массой и

силой инерции разрушают лед на дороге за счет последовательного действия деформации эластичного бойка с грузом-ударником, который своей острой гранью врезается в лед и скалывает его [26, с. 1-7; 52, с. 1-3].

С момента входа в контакт с покрытием центробежная сила ударника незначительна, и он прижимается к покрытию под действием центробежной силы груза. Последний, действуя на упругую тягу, несколько растягивает ее, обеспечивая увеличение времени воздействия скребка на лед при ударе. Описанный механизм взаимодействия рабочего органа льдоскалывающего устройства можно определить, как ударный, что дает возможность разрушения льда лишь в условиях повышенной хрупкости последнего, характерной для низких атмосферных температур. На практике, чаще всего, имеет место состояние льда, которое типично для климатических условий, сопровождающихся перемежающимися заморозками и оттепелями. Лед в этом случае обладает вязкопластическими свойствами и плохо поддается разрушению под действием ударных нагрузок. Другими словами, рабочий орган имеет ограниченную область применения. Кроме того, как недостаток следует рассматривать сложную кинематику собственно ударного механизма, а также наличие в нем двух упругих элементов, взаимодействие которых не может гарантировать выполнение намеченного алгоритма разрушения, хотя бы, в силу возможности рассогласования их работы, что возможно в условиях меняющегося рельефа обрабатываемой поверхности.

Конструкция перспективна для использования как аналог при разработке новых рабочих органов. Применение рабочего органа для разрушения льда с постоянной величиной разрушающего воздействия на лёд сильно ограничивает условия его применения, поскольку при недостаточной величине разрушающего воздействия ледяное покрытие не будет разрушаться, а при избыточной - часть энергии рабочего органа, не потраченная на разрушение льда, будет воздействовать на дорожное покрытие, тем самым разрушая его. Следовательно, разрушающее усилие должно быть регулируемым, подстраиваясь к режиму рабочих секций [26, с. 1-7; 52, с. 1-3].

Способ варьирования нужным разрушающим ударом по льду бойков рабочей секции является простым, удобным и более эффективным по требуемому результату, по сравнению с применением разно массовых ударников [59].

Причиной этого является следующее. 16. На разрушение СЛО не влияет приложенная к нему сила, а влияет подведенная к нему кинетическая энергия E_k и значение той ее части, которая тратится на совершение полезной работы дробления СЛО, т.е. преобразуется в потенциальную энергию напряжений, возникающих в теле СЛО в процессе его формоизменения, ведущего далее к разрушению или дроблению. Определяется она по общеизвестной формуле (1.4) [11, с. 47-48; 26, с. 1-7; 52, с. 1-3; 59, с. 1-4]:

$$E_k = \frac{m \cdot v^2}{2}, \text{ Дж}, \quad (1.4)$$

где m – вес сферического бойка, кг;
 v – линейная скорость движения ударника, м/с [11, с. 47-48; 52, с. 1-3].
 Известно, что линейная v и угловая ω скорости связаны:

$$v = \omega \cdot R, \text{ м/с.} \quad (1.5)$$

Тогда кинетическая энергия:

$$E_k = \frac{m \cdot \omega^2 \cdot R^2}{2}, \text{ Дж.} \quad (1.6)$$

Из формулы (1.6) видно, что при увеличении радиуса R расположения ударника относительно оси вращения, величина кинетической энергии рабочего органа увеличивается в квадратичной зависимости.

Можно заметить, что такое же влияние на величину кинетической энергии оказывает и изменение частоты вращения РО.

На основании таких простых предпосылок изобретателями спроектированы несколько выставленных ниже конструктивных решений, генерирующих управляемое разрушающее воздействие на лед за счет варьирования длиной гибкой связи между ударником и осью приводного вала.

Рассмотрим устройство для борьбы со льдом по патенту РК №27060 [26, с. 1-7], состоящее из передвигающихся по тросам грузов-ударников и полого приводного вала, во время вращения которого в рабочий процесс всей массой втягивались удерживаемые тросиками грузы-ударники, колотящие сверху по СЛО и раздробляющие их (рисунок 1.23). После удара по СЛО тросик дополнительно соскребает его остатки до чистого асфальта.

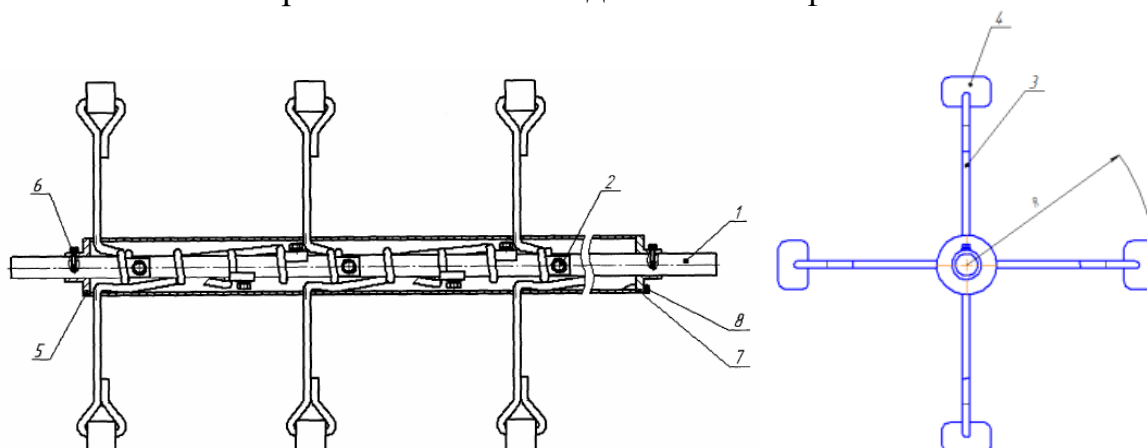


Рисунок 1.23 - Устройство для борьбы со льдом по патенту РК №27060

Примечание – Адаптировано из источника [26, р. 1-7]

В данном устройстве, через систему крепления троса можно управляемо выставлять его длину, меняя радиус (и диаметр) фиксированного вылета грузов-ударников, меняя генерируемую кинетическую энергию, а, значит, и

эффективность раздробления СЛО.

Устройство для борьбы со льдом по патенту РК №23189 [59, с. 1-4] (рисунок 1.24), содержит инерционные гибкие бойки, выполненные в виде закольцованных на подвижных торцевых фланцах тросов, которые могут менять свою длину при осевом движении фланцев вдоль приводного вала [26, с. 1-7; 52, с. 1-3; 59, с. 1-4].

Пружина 6, обвивающая привод может стягивать боковые фланцы ближе к середине вала. При сдвигании фланцев расстояние между противоположными отрезками закрепленных на них тросов увеличивается, и они работают уже с повышенной окружной скоростью, генерируя возрастающую пропорционально длине тросов кинетическую энергию, дробящую СЛО с повышенным эффектом при сохранении всех силовых и энергетических параметров устройства [59, с. 1-4].

Вращающиеся захваты-бойки 3, кроме дробления работают как сметающий орган, откидывая в сторону ледяной смет. Трос 3 не жесткий, его крепление не препятствует дополнительному изгибу и протягиванию троса по зоне удара. Причем этот изгиб не зависит от скорости вращения разбивателя льда. Разбиватель прост, надежен, перспективен.

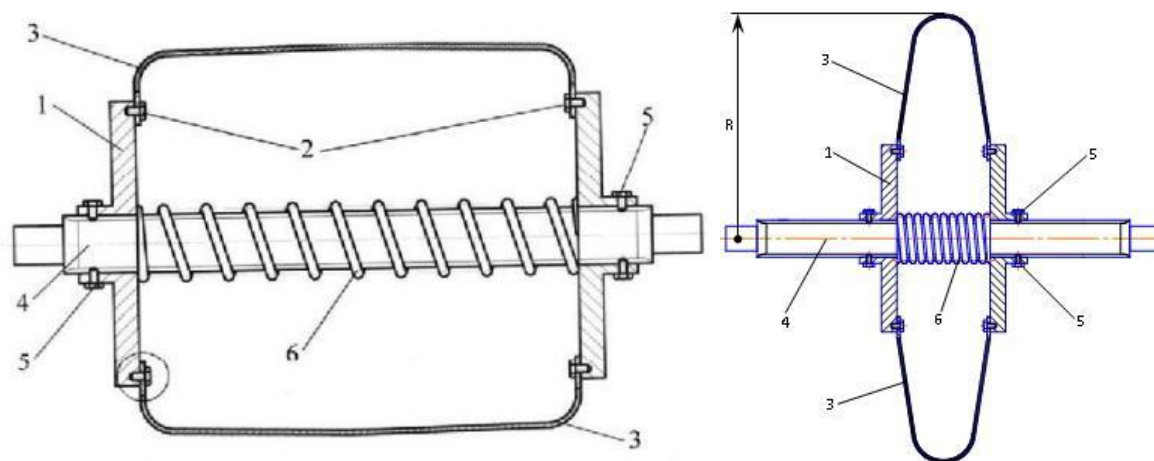


Рисунок 1.24 - Разбиватель льда по патенту №23189

Примечание – Адаптировано из источника [59, с. 1-4]

Представляет интерес устройство по изобретению льдоскалывателя Стихановского Б.Н. по патенту РФ №2474641 (рисунок 1.25) [60].

Льдоскалыватель состоит из приводного барабана 1, на обечайке которого по спирали смонтирована продольная цепь 2 с радиально закрепленными на ней ударниками (или ножами, плугами и т.п.) 4, не выступающими за верхние пределы границы ворса 5 и, в зависимости от потребностей, крепежные звенья 3. При монтаже ударников 4 внутри верхних границ ворса 5, они разбивают лед, который тут-же сметается ворсом 5 щетки при вращении барабана 1.

Предложенная конструкция льдоскалывателя универсальна, так как позволяет не снимать с обечайки приводного барабана секции с ворсом для

установки бойков при дроблении льда, и наоборот, не снимать секции с бойками при выполнении операций подметания.

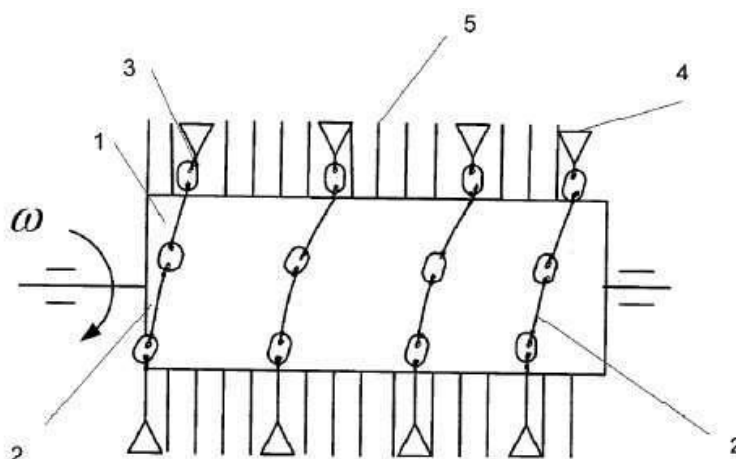


Рисунок 1.25 – Сменное рабочее оборудование для дробления и смета ледяного покрытия по патенту на изобретение РФ №2474641

Примечание – Адаптировано из источника [60, с. 1-5]

Оборудование, плотно обмотанное вокруг приводного барабана, также можно не демонтировать, так как цепь с ударниками одним концом крепится на нем, а другой конец с бойками плотно обматывается вокруг барабана.

Недостатки изобретения:

- изнашиваемость троса очень высокая, из-за чего при изгибающих и ударных нагрузках он быстро разрывается;
- попарное крепление бойков на приводном валу очень трудоемко, так как каждая пара крепится на барабан по спирали с поворотом барабана, а пар цепей, с закрепленными на концах бойками, может быть более десяти.

Так как банк конструкций льдоскалывающего оборудования весьма обширен, вместе с вышерассмотренными устройствами были проанализированы и другие запатентованные конструкции, например, вращательно-скалывающий рабочий орган по инновационному патенту РК №29156 [61], рабочее оборудование с гибкими звеньями по инновационному патенту РК №23190 [30, с. 1-4], пружинный рабочий орган по инновационному патенту РК №19931 [28, с. 1-5], пружинно-витковое оборудование для срезания льда по инновационному патенту РК №19930 [27, с. 1-4], рабочее оборудование с жесткими бойками по инновационному патенту РК № 27059 [31, с. 1-4], конструкцию с подпружиненными ударниками по изобретению №1768698 [62], устройство с дробяще-режущими бойками по изобретению №1544865 [63], конструкцию барабанного льдоскалывателя с поворачивающимися зубьями по патенту №1280080 [64], сегментное устройство для дробления льда по изобретению №894043 [65], устройство со съёмными режущими зубьями для срезания льда по изобретению №1183598 [66], скребково-колющий льдоскалыватель по изобретению №681145 [67], рабочее оборудование с двуплечными ударникам по изобретению №962422

[68], многорезцовое устройство по патенту №1474210 [69], соскабливающий льдоскалыватель по изобретению №1765275 [52, с. 1-3].

Все перечисленные льдоскалыватели несомненно обладают своими преимуществами, но и недостатки у них значительны и разнообразны. Поэтому из всех рассмотренных льдоскалывателей следует выбрать наиболее перспективные и определить пути их совершенствования, до получения оптимальной конструкции.

1.5 Определение перспективных направлений работы по разрушению льда на дорогах и тротуарах

Обобщая результаты вышеприведенного литературного и патентного анализа, составим краткую классификацию машин для уборки льда и СЛО с поверхности автомобильных дорог и городских территорий (рисунок 1.26) для исключения малоперспективных и определения наиболее пригодных для дальнейшей реализации конструкций и технологий [9, с. 8-15; 11, с. 59-61].



Рисунок 1.26 – Классификация машин для скалывания льда

При этом предпочтение отдадим только машинам механического действия, и не из прихоти, а потому что при низких температурах (ниже -20°C) химические машины будут непригодны или малоэффективны, тепловые машины трудно применить в городе, а фрикционные и комбинированные машины не представляют большого интереса ввиду большого количества недостатков, хоть и имеют свои перспективы в других регионах, с более мягким климатом и меньшим количеством осадков в виде снега.

Все три группы машин механического действия, а это машины со

статическим рабочим органом, щеточные машины и машины с динамическим рабочим органом, представляют интерес для дальнейшего рассмотрения и проработки, так как на практике именно этими машинами выполняются все работы по зимнему содержанию дорог и городских территорий в местах с суровыми климатическими условиями. Эти машины более просты по устройству, в отличие от, например, химических, и приспособлены к любым климатическим условиям.

Далее, из машин механического действия выберем только те машины, рабочие органы которых, очищая поверхность дороги или городских территорий, например, тротуара, не разрушают их несущую поверхность, то есть, убирают лед или нарушают его сцепление с очищаемой поверхностью, оставляя саму поверхность целой.

Выводы по разделу

1. На основе проведенного выше анализа, можно установить следующие конкретные и наиболее перспективные, с нашей точки зрения, направления для дальнейшей работы в пределах выбранной группы машин и их рабочих органов:

- скалывающие и срезающие лед вращающиеся рабочие органы;
- дробящие-роторные рабочие органы с плоскими бойками-билами;
- дробящие рабочие органы на вращающейся гибкой связи в виде цепей или отрезков из отходов отработанных стальных канатов со сферическими ударниками и без них.

2. Положительные результаты работы позволят создавать новые типы крошащего автодорожный лед оборудования, основанные на различных принципах взаимодействия подвижных и неподвижных участников процесса, значительно улучшающих технологическую, экономическую и экологическую эффективность производства. Применение таких крошителей (дробителей) автодорожного льда в зимнее время делает этот процесс более дешёвым, в том числе за счет более дешевых рабочих органов и более экологичным, за счет того, что не применяются химические реагенты, а за счет того, что дорога не разбивается, повышается и эффективность процесса. Все новые льдоскалыватели предполагают их использование как сменные сезонные составляющие стандартной дорожной щетки [59, с. 1-4].

3. Преимущество ударно-механических льдоскалывателей перед другими сравниваемыми типами конструкций позволяет судить о целесообразности исследований по определению рациональных параметров и режимов работы льдоскалывателей с бойками-ударниками на гибкой связи.

4. Повышение эффективности работы льдоскалывателей возможно рациональной организацией рабочего процесса разбивания льда, исключающей повышение мощности двигателя базовой машины.

5. Для части разрабатываемых рабочих органов (последнее направление работы) приемлемо применение техногенных отходов региона. Например, отработанные стальные канаты горнорудного производства и подъемно-

транспортного оборудования в качестве гибкой связи для ударников, что в какой-то мере поможет решить и экологические проблемы.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ДЛЯ РАЗРУШЕНИЯ ЛЬДА

2.1 Теоретические модели и предпосылки для разработки рабочего льдоскалывающего оборудования инерционно-ударного действия

Разрушение и очистка СЛО, покрывающих несущую поверхность автодорог, рабочим оборудованием инерционно-ударного действия, изначально задается вертикальной ориентацией рабочего оборудования относительно точки соударения инерционных бойков со среднестатистически намерзшей поверхностью СЛО в процессе их удаления, а также учитывает физико-механические свойства ледяного слоя и самого дорожного покрытия, а также кинематикой процесса разрушения льда.

Разрушение, дробление и очистка ото льда несущего слоя дорожного покрытия состоит, в основном, из двух достаточно последовательных и сопутствующих процессов: соударение инерционно-ударных бойков льдоскалывателя с ледяными наростами и, после их разбивания, соударение инерционно-ударных элементов с асфальтобетонным покрытием. Параметры рабочего оборудования и их рабочее позиционирование при этом абсолютно одинаковы, меняется только различный по прочности материал соударения с инерционными бойками.

Целью исследований, описываемых в данном разделе диссертации, является нахождение рациональных режимов работы и параметров рабочего процесса удаления СЛО, способствующих максимальной эффективности их очистки, но с обязательным сохранением целостности несущей поверхности тротуаров и дорог.

2.1.1. Описание процесса взаимодействия рабочего оборудования инерционно-ударного действия с СЛО

Результаты известных предшествующих исследований выявили наиболее трудный и сложный для разработки вид СЛО, затвердевший ледяной накат и гололедицу, при «нулевой» (0°C) температуре достигающих до 2,85 МПа прочности, и до 2,1 МПа силы сцепления с асфальтобетонным покрытием (адгезии). Все остальные образования обладают меньшей стойкостью к механическому разрушению [11, с. 62-67; 14, с. 20-43].

Исследования А.Р. Пуртова показывают, что на дорогах наиболее вероятно образование гололёда высотой 0,003-0,007 метра. Однако существует 10 % вероятности того, что величина гололёда может достигать 0,01 метра и более. Поэтому в основных расчётах примем эту величину за точку отсчета. Изменение характеристик разработки льда от его толщины будет рассмотрено далее [14, с. 56-95].

Очистка дороги от СЛО предлагаемым рабочим оборудованием происходит при совместном действии поступательного и вращательного движений, регулирование которых может изменить общую эффективность

процесса и которые можно разделить на две схемы, зависящие от направления движения бойка в зоне соударения с поверхностью СЛЮ при одинаковом поступательном движении самого льдоскалывателя с инерционно-ударными рабочими элементами (рисунок 2.1):

а) – схема попутной (обратной) разработки, когда движение бойка в зоне соударения и разрушения начинается от дневной поверхности льда;

б) – схема встречной (прямой) разработки, когда движение бойка рабочего органа начинается от точки сцепления (контакта) разрабатываемой обледенелой поверхности с асфальтобетонным основанием навстречу дневной поверхности.

Рассмотрим кинематические и энергетические характеристики обоих процессов.

В обеих схемах, во время разрушения и дробления льда, ударно-разрушающие инерционные бойки движутся по сложной траектории, которая является сочетанием вращательного движения относительно оси воображаемого диаметра их наибольшего разлета (оси рабочего оборудования) и поступательного перемещения в направлении движения льдоскалывателя. Траектория движения каждого бойка представляет собой удлиненную циклоиду (трохоиду), параметрическое уравнение которой в принятых координатах (см. рисунок 2.1) будет иметь вид:

$$Y = r \cdot \varphi \pm R \cdot \sin \varphi, \quad X = R(1 - \cos \varphi) \quad (2.1)$$

где: r – радиус производящего круга, катящегося без скольжения по прямой ab , м; R – расстояние от оси вращения рабочего органа до ударной кромки единичного бойка, м; φ – угол поворота производящего круга, отсчитываемый от положения, в котором точка M совпадает с начальной точкой A , рад. Знак "+" в данном выражении соответствует встречной разработке, а "–" попутной.

Параметром, характеризующим удлиненную циклоиду, является следующее отношение:

$$\lambda = \frac{R}{r} \quad (2.2)$$

Через этот параметр уравнения (2.1) можно представить в виде:

$$Y = R \cdot \left(\frac{\varphi}{\lambda} \pm \sin \varphi \right); \quad X = R \cdot (1 - \cos \varphi) \quad (2.3)$$

Радиус производящего круга r связан с подачей сменной секции ударного действия за один оборот S следующим соотношением:

$$S = 2\pi r \quad (2.4)$$

Если разделим трохойду на отдельные участки, с границами раздела $\varphi = 2 \cdot \pi \cdot r$ (см. рисунок 2.1), где r изменяется через единицу от нуля до любого целого положительного числа.

За начало отсчета примем точку А. Каждый участок трохойды будет соответствовать одному обороту рабочей секции.

Известно, что удлиненная циклоида всегда обладает узловыми точками, расположение которых зависит от параметра λ . В нашем случае узловые точки будут иметь следующие координаты: $(y_i; x_i)$, где $y_i = 2 \cdot k \cdot \pi \cdot r$ – для попутной разработки, $y_i = (2 \cdot k + 1) \cdot \pi \cdot r$ – для встречной разработки и $x_i = \text{const}$ – для обоих случаев, $k = 0, 1, 2, 3, 4$.

Из рисунка 2.1 видно, что за один оборот рабочего органа каждый боёк удаляет «стружку» постоянной толщины и участвует в процессе разработки в забое, угловой размер которого не превышает 90° (рисунок 2.1):

$$|\varphi_1| + |\psi| < \frac{\pi}{2} \quad (2.5)$$

Так как в каждом поперечном сечении рабочего органа установлен не один, а n бойков, то трохойда получается n - заходной, и толщиной скалывания в этом случае следует считать кратчайшее расстояние от точки трохойды, описываемой последующим бойком, до точки трохойды, описанной предыдущим бойком (по нормали к последней). При этом метод подсчета величины скалывания остается тем же, но уравнение последующего участка трохойды (2.3) принимает вид:

$$Y' = R \cdot \left(\frac{\frac{2\pi}{n} + \varphi}{\lambda} + \sin \varphi \right); \quad X' = R \cdot \left(\frac{1}{\lambda} - \cos \varphi \right) \quad (2.6)$$

Скорость разработки льда направлена по касательной к ударной траектории движения кромки инерционного бойка и равна геометрической сумме линейной скорости передвижения льдоскалывателя v_n (скорости поступательной подачи) и окружной скорости вращения сменной секции ($\omega \cdot R$) с инерционными бойками (по их ударной грани), где R определяется после определения средней величины изгиба всех упругих связей-цепей).

Правило параллелограмма позволяет определить скорость скалывания:

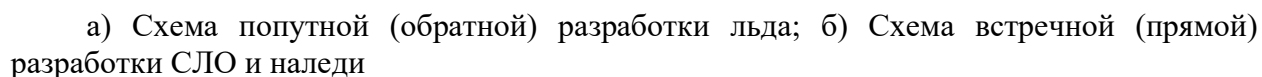
$$v_c = \sqrt{v_n^2 \pm R^2 \cdot \omega^2 \pm 2 \cdot R \cdot \omega \cdot v_n \cdot \cos \varphi} \quad (2.7)$$

знак "+" в данном выражении соответствует встречной разработке льда, а знак "–" – попутной.

Эта формула показывает, что скорость движения ударной кромки бойка рабочего органа в течение всего технологического процесса является переменной величиной. Для встречной разработки при $\varphi=0$ скорость разработки равна арифметической сумме v_n и $\omega \cdot R$, при $\varphi=\pi/2$ она равна $\sqrt{v_n^2 + \omega_c^2 \cdot R^2}$, а для попутной разработки значения скорости в этих точках будут равняться соответственно арифметической разнице v_n и $\omega \cdot R$, а при $\varphi=\pi/2$ она будет равняться также $\sqrt{v_n^2 + \omega_c^2 \cdot R^2}$. Следует отметить, что реальный угол разработки льда на асфальте будет значительно ниже $\pi/2$ (в связи с

$$\varphi = \arccos\left(1 - \frac{y+h}{R}\right) \quad (2.8)$$

где y – величина изменения проекции длины гибкой связи на начальную прямую, перпендикулярную оси вращения сменной секции ударного действия.



Необходимость учёта данного параметра связана с тем, что в отличие от большинства льдоуборочной техники, применяемой ныне для разрушения

льда с помощью ударной нагрузки или резанием, гибкая связь имеет возможность деформироваться под нагрузкой. Поэтому радиус движения скалывающей кромки бойка является величиной переменной. При ударе она отклоняется, уменьшая радиус вращения.

Для определения, как величины самой деформации, так и для определения мгновенного радиуса движения гибкой связи бойка можно воспользоваться дифференциальным уравнением изгиба элемента ворса щёточного рабочего органа, предложенным В.И. Баловневым [10, с. 441-462]:

$$\frac{d\phi}{dS} = \frac{M}{EJ} \quad (2.9)$$

Решая данное выражение (2.9), находим зависимость между силой разработки льда и уменьшением радиуса движения скалывающей кромки бойка (по аналогии с решением данного уравнения А.Р. Пуртовым, применительно к щёточному рабочему органу [14, с. 39, с. 141]).

Уравнение примет следующий вид:

$$y_c = (S - L_6) \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2(F_{уд} + F_{рез} - F_{тр})(S - L_6)^{1,5}}{E\pi(r_{ж.св.})^4} \right)^2} \right) \quad (2.10)$$

где ϕ - угол отклонения гибкой связи в направлении вращения, S – длина гибкой связи от точки крепления к производящему цилиндру до точки крепления бойка, L_6 – расстояние от точки крепления бойка до его наружной поверхности по максимальному диаметру расположения бойков на рабочем органе, M – изгибающий момент, E – модуль упругости гибкой связи, J – её момент инерции относительно оси перпендикулярной оси вращения рабочего органа, равный $0,25\pi r_{ж.св.}^4$, где $r_{ж.св.}$ – радиус гибкой связи.

Причём сила трения связана с величиной y_c следующей зависимостью:

$$F_{тр} = \frac{0,25f_{тр}E\pi r_{ж.св.}^4 (S - L_6)^6}{((S - L_6) - (y_k + y_c \pm Z_{р.о.}))^8}. \quad (2.11)$$

где $Z_{р.о.}$ – вертикальное перемещение рабочего органа относительно очищаемой поверхности.

Так как, величины y_c и $P_{тр}$ взаимосвязаны, то становится ясно, что выражение (2.10) простого математического решения не имеет и может быть решено только методом последовательного приближения. Однако экспериментальные исследования показали, что при выполнении работ с использованием рабочего органа, спроектированного по данной методике, не всегда удаётся достичь требуемого качества очистки покрытия. Это объясняется тем, что при вертикальном перемещении рабочего органа вверх, зона контакта бойков и льда значительно снижается, при этом дополнительное

отклонение от усилия разработки вообще приводит к разрыву контакта рабочего органа и разрабатываемого материала. Чтобы такого не происходило, необходимо выбирать условия работы рабочего органа ударного действия таким образом, чтобы сила трения в зоне контакта всегда была больше силы разработки [11, с. 24].

Выполнение данного условия достигается выбором величины предварительной деформации гибкой связи – u_k , обеспечивающим необходимые характеристики разработки при наибольшем центробежном «вылете» инерционно-ударного бойка от разбиваемой поверхности, а также допустимую общую деформацию гибкой связи при максимальном приближении его к обледенелой асфальтобетонной площадке под действием колебательных процессов. Фактором, ограничивающим величину соударения инерционных бойков и очищаемой поверхности, является потеря устойчивости элементов гибкой связи.

При значительной деформации каждый из элементов сложится (обмотается вокруг вала привода) и не будет участвовать в процессе разработки льда. В.И. Баловнев доказал, что для щёточного рабочего органа данный процесс наступает при превышении суммарной деформации ворса $1/15$ его длины, но в его случае на ворсе нет инерционных элементов, расправляющих ворс под действием центробежной силы при вращении вала.

В связи со схожей кинематикой процесса взаимодействия с очищаемой поверхностью и конструктивных аналогов, можно предположить, что данная зависимость верна и для гибкой связи инерционно-ударных бойков льдоскалывателя [10, с. 441-462].

Обеспечение стабильных условий разработки льда обеспечивается обязательным выполнением указанных условий. Предварительная деформация гибкой связи u_c в это время равняется 0.

Для анализа эффективности работы с разным направлением вращения инерционных элементов по отношению к направлению поступательного перемещения льдоскалывателей необходимо, чтобы они обладали одинаковой производительностью.

Для этого при одинаковых скоростях поступательного перемещения льдоскалывателей, для обеспечения равной толщины скалывания, инерционные бойки с попутным направлением своего вращения должны, за счет меньшего сопротивления их перемещения по разрушаемой поверхности, обеспечивать большую скорость своего вращения по сравнению со схемой встречной разработки на некоторую величину, значение которой и определим далее.

Соотношение рассматриваемых скоростей определится зависимостью:

$$K_c = \frac{v_c^п}{v_c^в} = \frac{\sqrt{v_{п.}^2 + \omega_{с.п.}^2 \cdot R^2 - 2\omega_{с.п.} \cdot R \cdot v_{п.} \cdot \cos\varphi}}{\sqrt{v_{п.}^2 + \omega_{с.в.}^2 \cdot R^2 - 2\omega_{с.в.} \cdot R \cdot v_{п.} \cdot \cos\varphi}} \quad (2.12)$$

Для обеспечения равенства производительности необходимо, чтобы между угловыми скоростями вращения выдерживалось следующее соотношение:

$$\omega_{\text{с.п.}}(R\omega_{\text{с.п.}} - 2v_{\text{п}}\cos\varphi) = \omega_{\text{с.в.}}(R\omega_{\text{с.в.}} + 2v_{\text{п}}\cos\varphi) \quad (2.13)$$

Из формулы видно, что данная величина зависит от угла положения элемента гибкой связи и бойка. Так как скорость вращения должна быть постоянной, то для сравнения примем среднюю скорость движения бойка в забое, которая равняется скорости движения на глубине, равной половине толщины снежно-ледяного покрова. Тогда выражение (2.13) перепишется в виде:

$$\omega_{\text{с.п.}} \left(R\omega_{\text{с.п.}} - 2v_{\text{п}} \left(1 - \frac{y_k + \frac{h}{2}}{R} \right) \right) = \omega_{\text{с.в.}} \left(R\omega_{\text{с.в.}} + 2v_{\text{п}} \left(1 - \frac{y_k + \frac{h}{2}}{R} \right) \right) \quad (2.14)$$

Решая данное уравнение, получаем необходимую зависимость между скоростями при $v_{\text{с}}^{\text{попутн}} = v_{\text{с}}^{\text{встречн}}$:

$$\omega_{\text{с.п.}} = \omega_{\text{с.в.}} + \frac{2v_{\text{п}} \left(1 - \frac{y_k + \frac{h}{2}}{R} \right)}{R}, \quad (2.15)$$

Таким образом, скорость вращения $\omega_{\text{сп}}$ при попутной разработке зависит от скорости движения машины, а значит и от требуемой производительности. При этом увеличение деформации гибкой связи, также как и увеличение высоты разрабатываемого материала, наоборот приводит к возможности уменьшить скорость вращения рабочего органа. Зависимость изменения $\omega_{\text{сп}}$ от R имеет обратно пропорциональный характер.

Из формулы (2.15) следует, что с точки зрения кинематики самого процесса удаления льда, более предпочтительной является схема встречной разработки льда. Но, тем не менее, данный способ не может гарантировать сохранности очищаемого дорожного полотна от повреждений, связанных с конструктивными особенностями рассматриваемого рабочего оборудования, а также с видом его работы. Так, из схемы соударения (рисунок 2.1, б) видно, что перед тем, как дробить лёд, инерционно-ударный боёк сначала может удариться в уже очищенный от СЛО отрезок дорог, что может послужить причиной разрушения ее несущего слоя.

Та суммарная энергия, которой обладают инерционные бойки, расходуется не только на разбивание СЛО, но и на возможное разрушение целостности дорожного полотна при их соударении. При расчетах следует учитывать, что при схеме встречной (прямой) разработки, плоскость СЛО, по которой происходит удар, лежит не на дневной, несущей поверхности, покрытой СЛО, как при попутной схеме, а под некоторым углом.

Отсюда следует, что расстояние между этой плоскостью и точкой, которая одновременно является и точкой, лежащей на линии удара (по которой направлена скорость скалывания), и точкой принадлежащей границе льда, будет больше, а значит, будет больше и сопротивление скалыванию льда. Поэтому в дальнейших расчётах мы будем рассматривать только схему попутной разработки льда.

2.1.2 Механико-математическая теоретическая модель внедрения сферического бойка в деформируемый ледяной слой

Для обеспечения эффективной работы рабочих органов посредством установления значения необходимого ударного воздействия для разрушения льда, имеющего определенные характеристики, на дорожном покрытии необходимо построение соответствующей модели. Следует отметить, что в настоящее время проблеме разрушения льда на дорогах и тротуарах оборудованием ударного действия посвящено не так много научных исследований. Процесс разрушения льда при его контактном взаимодействии с твердыми телами является сложным, основы физической теории этого процесса еще не до конца развиты, поэтому сейчас не всегда возможно процесс разрушения льда описать количественно.

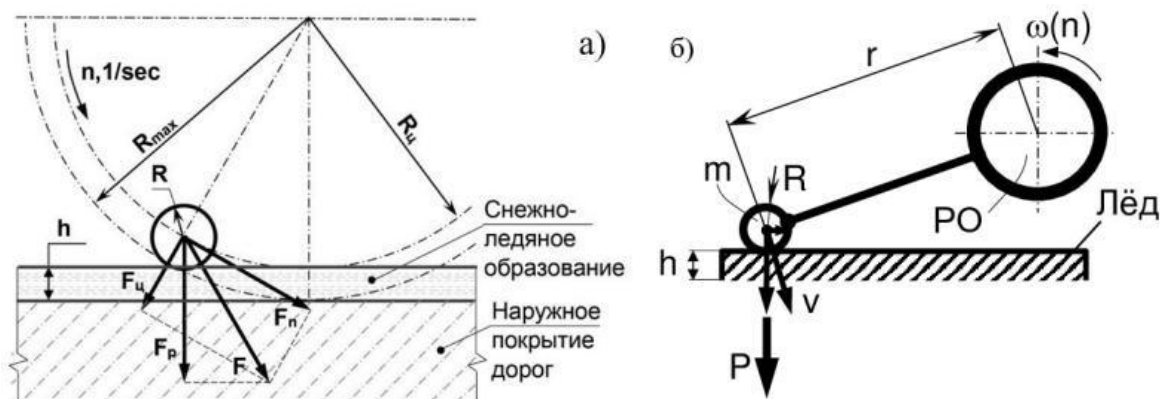
Применительно ко льду достаточно удобно использовать модели, в которых явления представлены в виде достаточно простых для практического применения уравнений состояния через напряжения и деформации на основе законов сопротивления материалов [11, с. 62-88; 14, с. 100-124; 15, с. 6-10; 16, с. 8-10; 17, с. 60-65; 23, с. 58-86; 36, с. 43-70; 44, с. 177-191; 47, с. 157-164].

Сначала зависимости для определения параметров РО, необходимых для эффективного разрушения льда, получим теоретически, исходя из общих предпосылок, например, что в момент соударения со льдом вся кинетическая энергия бойка должна поглощаться последним и происходить ее полный переход в работу разрушения и далее - в деформации и напряжения.

Подойдем к рассмотрению вопроса взаимодействия со льдом бойка со сферической ударной поверхностью с позиций базовых положений механики упруго деформируемого твердого тела, поскольку проявление пластических свойств (не хрупких) льда при ударе, в большинстве опытов, очень мало. Макроскопическое разрушение доселе неделимой целостности льда после его ударных контактов с бойками, будем считать механическим разрушением льда [36, с. 43-70; 70-74].

Взаимодействие ударников льдоскалывающей машины в виде абсолютно жесткого сферического тела, с деформируемой поверхностью представляет собой актуальную контактную задачу прикладной механики [75 - 78], имеющую достаточно широкое применение (рисунок 2.2).

Разрушение в СЛЮ при ударе твердым, прочным телом, неразрывно с одновременным появлением многочисленных поверхностей разрыва, разделяющих материалы соударения на упругие и вязкие, может быть жидкость.



r - расстояние от оси вращения до центра масс бойка (м); ω - угловая скорость (с^{-1}) (n - частота (об/мин)) вращения рабочего органа; v - скорость соударения бойка со льдом (м/с); m - масса бойка (кг); R - радиус бойка, м; P - сила удара бойка по льду (Н); h - толщина льда, м

Рисунок 2.2 – Схема взаимодействия сферического бойка со льдом

Пробные натурные опыты показывают, что концентрированный удар твердого, прочного тела о внешнюю кромку тонкого льда вызывает ее «луночное» смятие, при этом, одновременно, раздробленный слой льда в виде мелкой крошки как-бы выжимается на внешнюю поверхность, а в самой зоне контакта, между оставшимся неразрушенным льдом и твердым телом, образуется промежуточный (возможно жидкий) слой определенной толщины, который может опять превратиться в сплошной лед [79, 80].

Растягивающие нагрузки начинают оказывать влияние на элемент, еще, по-прежнему, остающийся в матрице жесткости.

Буссинекс (Boussinesq I.) в свое время представлял решение задачи статического действия концентрированной силы P на поверхность, устанавливающей границы упругого полу бесконечного тела (рисунок 2.3,а), которое вкупе с его разновидностями, предусматривающими недеформируемую границу на некоторой глубине $z=h=h_1+h_2$ двухслойного пространства (рисунок 2.3,б), можно считать основой обсуждаемой математической модели [14, с. 112; 77, с. 640-647; 81, с. 15-24].

К схематизации среды, согласно рисунка 2.3б, принимаем следующие допущения, используемые в механике сжимаемого с деформацией сплошного твердого объекта [50, с. 32-42]:

- материалы пространства $0 \leq r \leq \infty$, $0 \leq z \leq h$ – однородные, сплошные, изотропные;

- на пороговой (экстремальной) плоскости, верхним и следующим за ним слоями, должен быть гарантирован существующий контакт, неразрывная связь: $h_1+h_2=h=z$.

С учетом симметричного характера моделируемого процесса и конструктивно-технологической двухслойности пространства, вводим функции нормальных $\sigma_{rr}=\sigma_{rr}(r, z)$, $\sigma_{\theta\theta}=\sigma_{\theta\theta}(r, z)$, $\sigma_{zz}=\sigma_{zz}(r, z)$ и касательного $\tau=\tau(r, z)$ (рисунок 2.3, а) напряжений в цилиндрических координатах r, z , в ключевую расчетную схему рисунка 2.3, б [81, с. 15-24].

$$\sigma_{ri} = \frac{P}{2\pi} \left\{ (1 - 2\mu_i) \left[\frac{1}{r^2} - \frac{z}{r^2} (r^2 + z^2)^{-\frac{1}{2}} \right] - 3r^2 z (r^2 + z^2)^{-\frac{5}{2}} \right\}; \quad (2.16)$$

$$\sigma_{\theta i} = \frac{P}{2\pi} (1 - 2\mu_i) \left[-\frac{1}{r^2} + \frac{z}{r^2} (r^2 + z^2)^{-\frac{1}{2}} + z (r^2 + z^2)^{-\frac{3}{2}} \right]; \quad (2.17)$$

$$\sigma_{zi} = \sigma_{z1} = \sigma_{z2} = \sigma_z = -\frac{3P}{2\pi} z^3 (r^2 + z^2)^{-\frac{5}{2}}; \quad (2.18)$$

$$\tau_i = \tau_1 = \tau_2 = \tau = -\frac{3 \cdot P}{2\pi} r \cdot z^2 (r^2 + z^2)^{-\frac{5}{2}}, \quad (0 \leq r \leq \infty, \quad 0 \leq z \leq \infty) \quad (2.19)$$

где $i=1, 2$ – номера слоёв (рисунок 2.3, б);

μ_1, μ_2 – коэффициенты Пуассона материалов пространства, имеющих соответствующие модули упругости E_1, E_2 .

Аппроксимирующие зависимости (2.16)–(2.19) точно удовлетворяют граничным условиям вида:

- на поверхности $z=0$

$$\sigma_z(r, 0) = \tau(r, 0) = 0; \quad (2.20)$$

- в любом горизонтальном сечении $z=\text{const}$ с площадью $F=\infty$ и ее элементарной составляющей $dF=r \cdot d\theta \cdot dr$ (рисунок 2.3, а), где равнодействующая вертикальных усилий σ_z должна быть статически эквивалентна внешней нагрузке P , то есть

$$\int_F \sigma_z dF = \int_0^{2\pi} d\theta \int_0^\infty \sigma_z r dr = -P; \quad (2.21)$$

$$\sigma_{ri}(r, \infty) = \sigma_{\theta i}(r, \infty) = \sigma_z(r, \infty) = \tau(r, \infty) = 0 \quad (\text{при } r \rightarrow \infty \text{ и } z \rightarrow \infty) \quad (2.22)$$

Продолжая решение поставленной задачи, находим осевые перемещения $w_1=w_1(r, z)$ и $w_2=w_2(r, z)$ в упруго деформируемом пространстве (рисунок 2.3, б) от сосредоточенной в точке $r=z=0$ силы P , воспользовавшись: формулой обобщённого закона Гука для линейного деформационного параметра ε_{zi}

$$\varepsilon_{zi} = \frac{1}{E_i} [\sigma_z - \mu_i (\sigma_{ri} + \sigma_{\theta i})]; \quad (2.23)$$

- дифференциальной зависимостью Коши - $\varepsilon_{zi} = \frac{\partial w_i}{\partial z}$. (2.24)

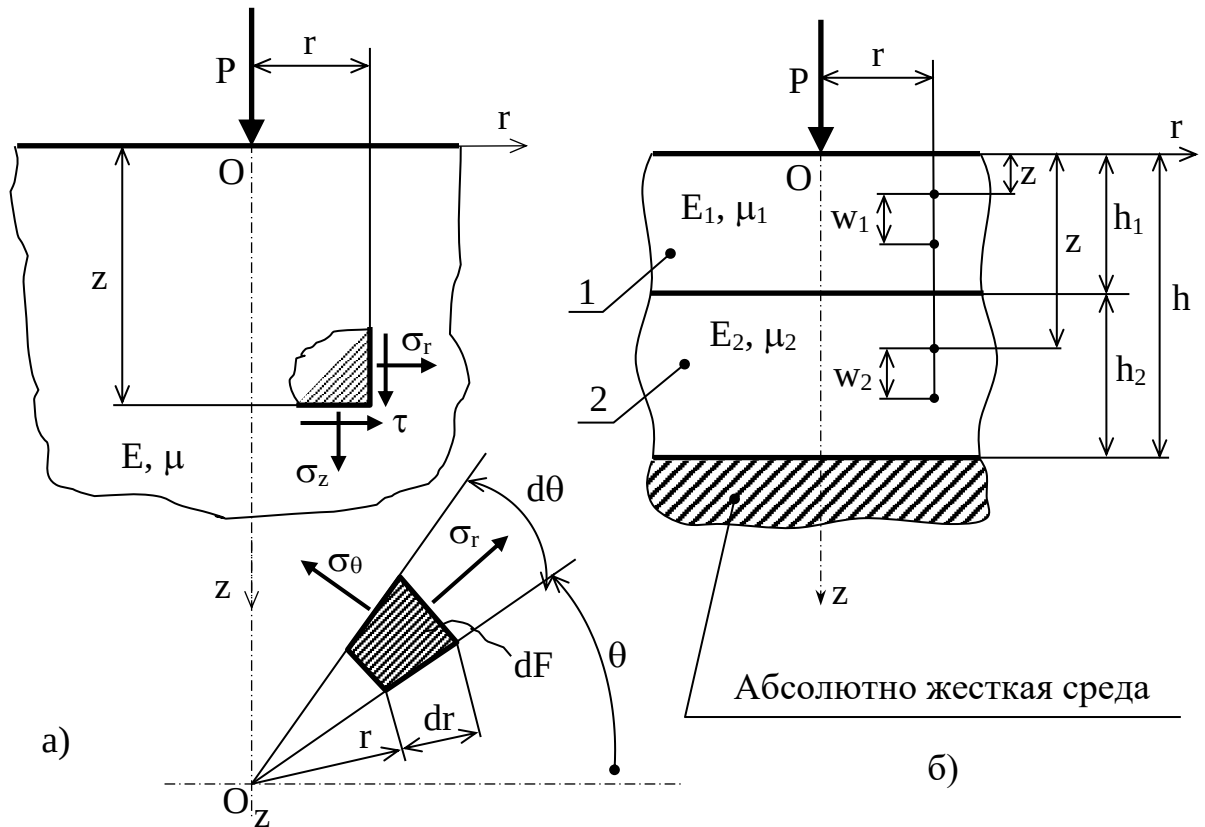
Интегрируем равенство (2.24) по переменной z с учётом выражений (2.7) - (2.9), (2.23) и таблиц [82, 83, 84, 85, 86, с.24-27]:

$$w_i = \frac{(1 + \mu_i)P}{2\pi E_i} \left[z^2 (r^2 + z^2)^{-\frac{3}{2}} + 2(1 - \mu_i)(r^2 + z^2)^{-\frac{1}{2}} \right] + \Phi_i(r); \quad (2.25)$$

где $\Phi_1(r)$, $\Phi_2(r)$ – функциональные зависимости, включающие пока неизвестные коэффициенты K_1 и K_2 :

$$\Phi_1(r) = K_1 \frac{P}{r}; \quad \Phi_2(r) = K_2 \frac{P}{r}; \quad 0 \leq r \leq \infty. \quad (2.26)$$

Имея готовое решение (2.25, 2.26) для сосредоточенной силы P (рисунок 2.3, б), представим, что на упругом пространстве конечной толщины h и бесконечном по координате r , находится абсолютно жёсткая сфера (рисунок 2.4), описанная радиусом R .



а) классическая модель бесконечного полупространства Буссинеска;
б) двухслойное пространство конечной толщины h

Рисунок 2.3 – Базовые расчётные схемы

При исключении влияния ($P=0$) внешнего давления и собственного веса на шарообразное сферическое тело, касание сферы с крайней ($z=0$) плоскостью, совершается на пике $r=z=0$.

На малом, по сравнению с R , расстоянии

$$r \ll R \quad (2.27)$$

Зазор или просвет $w_{\text{пр}}=w_{\text{пр}}(r)$ можно, как известно, с достаточным приближением аппроксимировать формулой:

$$w_{\text{пр}} = \frac{r^2}{2R}. \quad (2.28)$$

Если в центре сферы подать нагрузку $P \perp r$, заставляющую сферу взаимодействовать с упругими слоями ледяного покрытия, то в месте их граничного соприкосновения ($z=0$) площадка соприкосновения начнет принимать форму сферического сегмента и изогнется под его очертания, тогда ее образующую можно с достаточной степенью точности описать параболической зависимостью, опираясь на (2.27), (2.28) (рисунок 2.5) [81, с. 15-24]:

$$w_1 = w_1(r,0) = w_0 - \frac{r^2}{2R}; \quad 0 \leq r \leq \alpha, \quad (2.29)$$

где w_0 – наибольшая полусфера, на которую боек по высоте вдавится в лед;

α – радиальный размер ледяной лунки от вдавленного шара.

Рисунок 2.5 кратко иллюстрирует исходные положения соприкосновения и внедрения двух тел для расчета упруго изогнутых пространственных поверхностей материалов и процесса их физмат моделирования, параллельно к зависимости (2.27), рассматривая выдвинутые ранее гипотезы [50, с. 32–42; 81, с. 15-24; 86, с. 24-27]:

- контактное давление $q=q(r) \perp r$, а силы трения равны нулю;
- статическая нагрузка P , приложенная к штампу, создаёт в зоне контакта только упругие деформации, подчиняющиеся закону Гука;
- функция $q(r)$ выражается эллиптической зависимостью Герца-Штаермана [75, с. 148-176; 81, с. 15-24; 86, с. 24-27; 87]:

$$q = q(r) = q_0 \sqrt{1 - \left(\frac{r}{\alpha}\right)^2}, \quad 0 \leq r \leq \alpha \quad (2.30)$$

с экстремумом в центре $r=0$ круговой площадки,

$$q_0 = \frac{3P}{2\pi\alpha^2} \quad (2.31)$$

тогда формула (2.30) верно описывает распределение силы P во время вдавливания сферического или описанного параболой тела в безграничное полупространство ($0 \leq r \leq \infty$, $0 \leq z \leq \infty$) (рисунок 2.5).

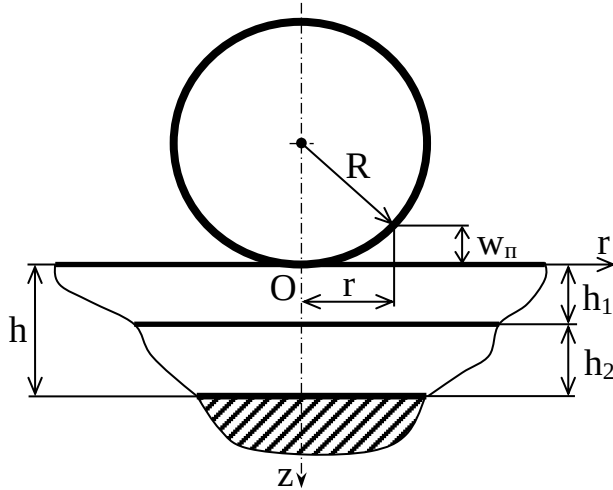


Рисунок 2.4 – Естественное (преддеформируемое) ($P=0$) состояние пространственной системы

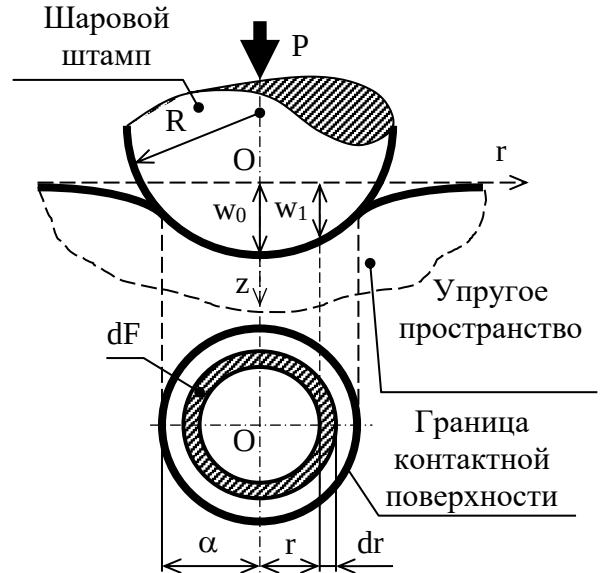


Рисунок 2.5 – Схема для расчета упруго изогнутых пространственных поверхностей материалов

Найдем, используя определение суперпозиции, перемещения произвольных позиций $w_{z2}=w_{z2}(z, 0)$ и $w_{z1}=w_{z1}(z, 0)$ принадлежащих оси z , в лежащих на ней интервальных точках $h_1 \geq z \geq 0$ и $h_1 \leq z \leq h=h_1+h_2$ (рисунок 2.3,б, 2.6), воспользовавшись зависимостями (2.25), (2.26), (2.30), справочной информацией и заменяя силу P , согласно рисунка 2.6, на бесконечно малую величину, действующую по элементарной площади $dF = 2\pi \cdot r \cdot dr$:

$$dP = q \cdot dF = 2\pi \cdot r \cdot dr \cdot q = \frac{2\pi q_0}{\alpha} \sqrt{\alpha^2 - r^2} \cdot r \cdot dr, \quad (2.32)$$

а также вводя новую переменную [81, с. 15-24; 86, с. 24-27]

$$\alpha^2 - r^2 = t^2, \Rightarrow r^2 = \alpha^2 - t^2, \quad r \cdot dr = -t \cdot dt \quad (2.33)$$

при условии, что в процессе интегрирования по аргументу r

$$\alpha^2 + z^2 = \text{const.} \quad (2.34)$$

Опуская несложные промежуточные преобразования и учитывая (2.25), (2.26), (2.30), (2.32), в итоге получаем:

$$w_{z1} = q_0 \alpha \left\{ \frac{(1 + \mu_1)}{E_1} \left[(1 - \mu_1) \arcsin \frac{\alpha}{\sqrt{\alpha^2 + z^2}} + \mu_1 \frac{z}{\alpha} \left(1 - \frac{z}{\alpha} \arcsin \frac{\alpha}{z \sqrt{\alpha^2 z^{-2} + 1}} \right) \right] + K_1 \frac{\pi^2}{2} \right\}; \quad (2.35)$$

$$w_{z2} = q_0 \alpha \left\{ \frac{(1 + \mu_2)}{E_2} \left[(1 - \mu_2) \arcsin \frac{\alpha}{\sqrt{\alpha^2 + z^2}} + \mu_2 \frac{z}{\alpha} \left(1 - \frac{z}{\alpha} \arcsin \frac{\alpha}{z \sqrt{\alpha^2 z^{-2} + 1}} \right) \right] + K_2 \frac{\pi^2}{2} \right\}. \quad (2.36)$$

Параметры K_1 и K_2 определяются из двух кинематических граничных условий (см. рисунки 2.3б и 2.6):

$$-\text{при } z=h_1: w_{z1}(h_1) = w_{z2}(h_1); \quad (2.37)$$

$$-\text{при } z=h_1+h_2=h \quad w_{z2}(h) = 0. \quad (2.38)$$

Раскрывая равенства (2.37–2.38) с помощью аналитических выражений (2.35–2.36), будем иметь:

$$K_1 = \frac{2(1 + \mu_2)}{\pi^2 E_2} \left\{ (1 - \mu_2) \arcsin \frac{\alpha(1 - h_1 h^{-1})}{\sqrt{(\alpha^2 + h_1^2)(\alpha^2 h^{-2} + 1)}} + \frac{\mu_2}{\alpha} \left[h_1 \left(1 - \frac{h_1}{\alpha} \arcsin \frac{\alpha}{h_1 \sqrt{(\alpha^2 h_1^{-2} + 1)}} \right) - \right. \right. \\ \left. \left. - h \left(1 - \frac{h}{\alpha} \arcsin \frac{\alpha}{h \sqrt{(\alpha^2 h^{-2} + 1)}} \right) \right] \right\} - \frac{2(1 + \mu_1)}{\pi^2 E_1} \left[(1 - \mu_1) \arcsin \frac{\alpha}{\sqrt{\alpha^2 + h_1^2}} + \right. \\ \left. + \mu_1 \frac{h_1}{\alpha} \left(1 - \frac{h_1}{\alpha} \arcsin \frac{\alpha}{h_1 \sqrt{\alpha^2 h_1^{-2} + 1}} \right) \right]; \quad h \geq h_1; \quad (2.39)$$

$$K_2 = -\frac{2(1 + \mu_2)}{\pi^2 E_2} \left[(1 - \mu_2) \arcsin \frac{\alpha}{\sqrt{(\alpha^2 + h^2)}} + \mu_2 \frac{h}{\alpha} \left(1 - \frac{h}{\alpha} \arcsin \frac{\alpha}{h \sqrt{(\alpha^2 h^{-2} + 1)}} \right) \right]. \quad (2.40)$$

Для исследования упругих перемещений и напряжённого состояния материала в месте контакта (рисунки 2.3б и 2.5) предварительно определяем деформацию граничной поверхности пространства от воздействия нормального давления $q=q(r)$, распределенного по некоторой части плоскости $z=0$ в пределах круга $0 \leq r \leq \alpha$ радиусом α (рисунки 2.5 и 2.6). Полагая в формулах (2.25 - 2.26) $z=0$ и $i=1$, получаем функцию перемещения $w_1=w_1(r, 0)$ точек плоской поверхности при действии концентрированной силы P :

$$w_1 = \left[\frac{(1 - \mu_1^2)}{\pi E_1} + K_1 \right] \frac{P}{r}. \quad (2.41)$$

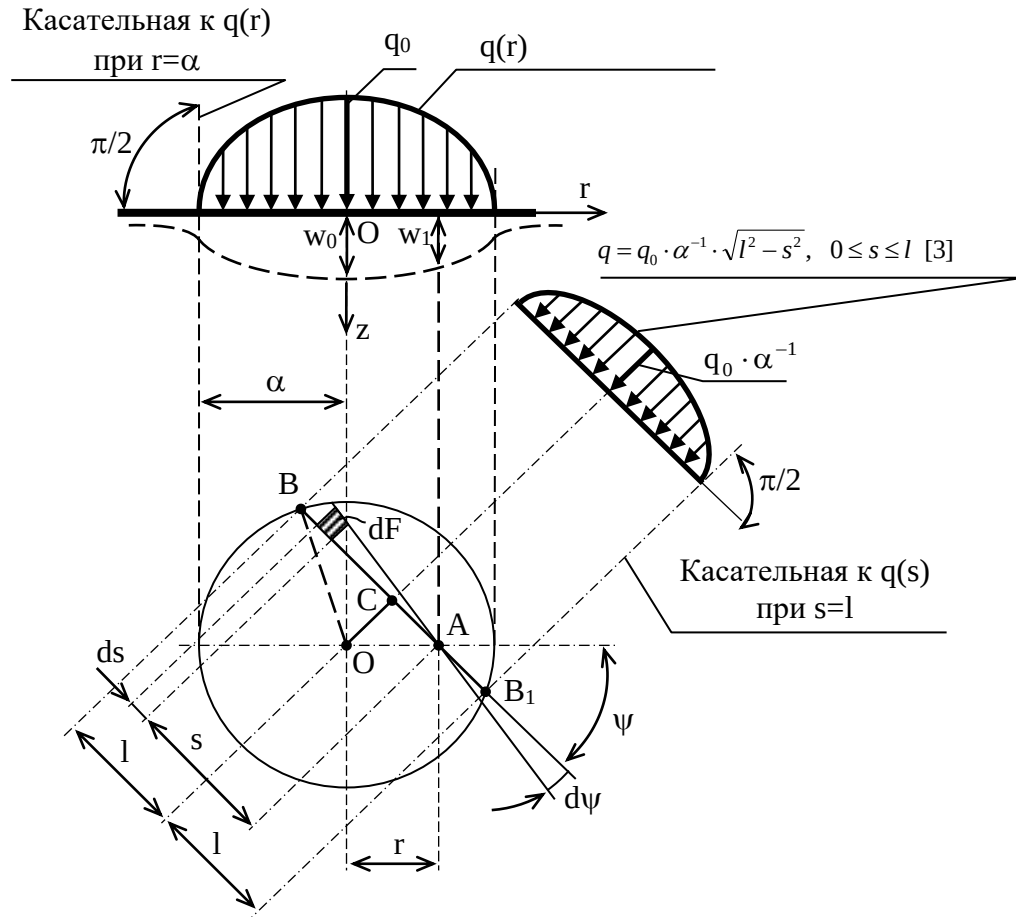


Рисунок 2.6 – Схема к решению интегрального уравнения (2.41), определяющего перемещение $w_0 = \max$ и радиус α

Согласно принципу суперпозиции, в применении к аналитическому выражению (2.41), имеем интегральную зависимость [81, с. 15-24]:

$$w_1 = w_1(r, 0) = \left[\frac{(1 - \mu_1^2)}{\pi E_1} + K_1 \right] \int_F \frac{q dF}{s}, \quad (2.42)$$

где s – расстояние от произвольной точки A , в которой ищется перемещение w_1 , до места приложения элементарной силы $q dF$ (рисунок 2.6); dF – бесконечно малая площадка

$$dF = s \cdot d\psi \cdot ds \quad (2.43)$$

с отсчётом полярного угла ψ от горизонтальной оси.

Обозначим длину хорды BB_1 через $2l$ и запишем выражение (2.42), с учетом (2.43), в виде двойного интеграла по переменным s, ψ при изменении

аргумента ψ от 0 до π :

$$w_1 = \left[\frac{(1 - \mu_1^2)}{\pi E_1} + K_1 \right] \int_0^\pi d\psi \int_{-1}^1 q ds \quad (2.44)$$

с использованием обозначений рисунка 2.6 и справочных данных [88]:

$$\begin{aligned} w_1 &= \left[\frac{(1 - \mu_1^2)}{\pi E_1} + K_1 \right] \frac{q_0}{\alpha} \int_0^\pi d\psi \int_{-1}^1 \sqrt{l^2 - s^2} ds = \\ &= \left[\frac{(1 - \mu_1^2)}{\pi E_1} + K_1 \right] \frac{q_0}{\alpha} \int_0^\pi d\psi \left(\frac{s\sqrt{l^2 - s^2}}{2} + \frac{l^2}{2} \arcsin \frac{s}{l} \right) \Big|_{-1}^1 = \\ &= \frac{\pi}{2} \left[\frac{(1 - \mu_1^2)}{\pi E_1} + K_1 \right] \frac{q_0}{\alpha} \int_0^\pi l^2 d\psi. \end{aligned} \quad (2.45)$$

Из геометрических соображений (см. рисунок 2.6)

$$l^2 = OB^2 - OC^2 = \alpha^2 - r^2 \sin^2 \psi. \quad (2.46)$$

Тогда, на основании (2.45) и [50, с. 32–42; 81, с. 15–24; 86, с. 24–27]:

$$\begin{aligned} w_1 &= \frac{\pi}{2} \left[\frac{(1 - \mu_1^2)}{\pi E_1} + K_1 \right] \frac{q_0}{\alpha} \int_0^\pi (\alpha^2 - r^2 \sin^2 \psi) d\psi = \\ &= \frac{\pi}{2} \left[\frac{(1 - \mu_1^2)}{\pi E_1} + K_1 \right] \frac{q_0}{\alpha} \left[\alpha^2 \pi - r^2 \left(\frac{\psi}{2} - \frac{\sin 2\psi}{4} \right) \Big|_0^\pi \right] = \\ &= \frac{\pi^2 q_0 \alpha}{2} \left[\frac{(1 - \mu_1^2)}{\pi E_1} + K_1 \right] - \frac{\pi^2 q_0}{4\alpha} \left[\frac{(1 - \mu_1^2)}{\pi E_1} + K_1 \right] r^2. \end{aligned} \quad (2.47)$$

Учитывая (2.31) и сравнивая правые части выражений (2.29), (2.47) в подчеркнутых слагаемых (2.47), заключаем, что искомое максимальное значение w_0 функции $w_1(r, 0)$ будет равно:

$$w_0 = \frac{\pi^2}{2} \left[\frac{(1 - \mu^2)}{\pi E_1} + K_1 \right] q_0 \alpha = \frac{3\pi P}{4\alpha} \left[\frac{(1 - \mu_1^2)}{\pi E_1} + K_1 \right], \quad (2.48)$$

а для определения радиуса α контактной поверхности (рисунки 2.5 и 2.6) будем иметь трансцендентное уравнение

$$\alpha^3 = \frac{3\pi PR}{4} \left[\frac{(1 - \mu_1^2)}{\pi E_1} + K_1(\alpha) \right] \quad (2.49)$$

которое решается методом подбора.

Результат (2.48) получается и из ранее выведенного функционального соотношения (2.35) для $w_{z1}=w_{z1}(z)$, если принять $z=0$.

Естественно, что найденные зависимости (2.48) - (2.49), при выполнении условий (2.29), (2.42) - (2.44), адекватны точному решению обратным методом интегрального уравнения [50, с. 32–42; 81, с. 15-24; 86, с. 24-27]:

$$\left[\frac{(1 - \mu_1^2)}{\pi E_1} + K_1 \right] \int_F \frac{qdF}{s} = w_0 - \frac{r^2}{2R} \quad (2.50)$$

относительно функции $q(r)$, представляемой формулами (2.30, 2.31).

Поскольку структура зависимостей (2.7, 2.10) внутренних силовых факторов σ_{ri} , $\sigma_{\theta i}$, σ_z , τ совершенно идентична соответствующим классическим соотношениям однородного полупространства, то для количественной оценки напряжений рассматриваемой двухслойной системы (рисунки 2.3.б, 2.4 и 2.5) в замкнутой области $0 \leq z \leq h$, $0 \leq r \leq \alpha$ контакта соприкасающихся тел, можно воспользоваться известными формулами, дополненными индексом $i=1; 2$.

Общий механизм оценивания поверхностной прочности и жесткости льда (рисунок 2.3.б) рассматривает основным параметром размер α деформированной (разбитой) контактной поверхности наружной площадки основания (рисунок 2.5), находимой по зависимости (2.49) по найденным значениям искомых характеристик P , R , h_1 , h , E_1 , E_2 , μ_1 , μ_2 .

Полученные в данной главе диссертации теоретические зависимости можно непосредственно использовать во многих технических приложениях, включая необходимое нахождение параметров поперечного удара неделимого бойка сферической или кубической формы по СЛЮ (с целью его ликвидации), образовавшихся на твердых покрытиях дорог, например, асфальтобетонных, или бетонных полос, с кусочно-однородной структурой по толщине слоев.

При этом главным эксплуатационно-технологическим требованием, несомненно, должно быть соблюдение условий, обеспечивающих целостность, прочность и недеформируемость (упругую жесткость) дорожного покрытия в процессе фрезерования или сбивания с него СЛЮ, что должно обеспечиваться расчетом, подбором и регулированием механико-геометрических рациональных параметров как при проектировании льдоскалывателя, так и при расчете требуемых параметров динамического рабочего процесса «Подвижный инерционный боек» – неподвижное основание».

Разработанную теоретическую модель и методику расчета возможно обобщить при $i > 2$ на неоднородные пространства конечной $h = \text{const}$ и бесконечной толщины $h = \infty$ с постоянными упругими характеристиками материалов $E_i = \text{const}$, $\mu_i = \text{const}$ в пределах одного слоя.

2.1.3 Теоретическая математическая модель ударно-силового взаимодействия сферического ударника с упруго деформируемым ледяным слоем

Предмет рассмотрения является одним из дополняющих вариантов типичной схемы соударения упруго деформируемых сферических тел, в своё время исследованной Г. Герцем, который рассматривал деформации твердых тел после их быстрого соприкосновения при независимом встречном движении сферических тел по общей оси, пронизывающей их центры, со скоростями v_1 и v_2 после соприкосновения (рисунок 2.7) приняв что одно из этих тел является неподвижным упругим полупространством с нулевой кривизной границы $z=0$, а ударяющая сфера-ударник весом P имеет недеформируемую поверхность с общим радиусом R (рисунок 2.8) [14, с.112-114; 87, с. 47-84; 88, с. 278-289]:

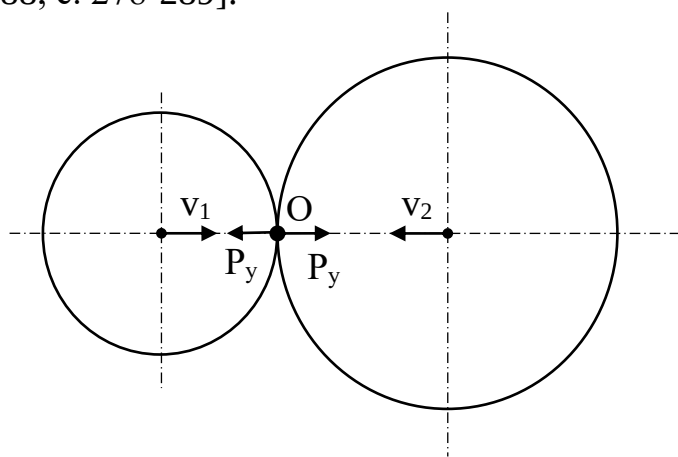


Рисунок 2.7 – Типичная схема соударения упруго деформируемых сферических тел по Герцу

Г. Герц, подробно исследуя встречно-поперечный удар, определил ограничения поверхностей соударяющихся тел, пренебрег образующейся вибрацией и выдал гипотезу, что при одинаковых уравнениях, характеризующих движение всех частей соударяющегося тела, закон ударного соприкосновения будет справедлив для любой формы соударяющихся тел [14, с.112-114; 50, с. 32–42; 81, с. 15-24; 87, с. 47-84].

Механико-математическая модель, применительно к расчетной схеме рисунка 2.8, базируется на следующих предпосылках и допущениях:

а) материал полупространства $0 \leq r \leq \infty$, $0 \leq z \leq \infty$ - однородный, сплошной, изотропный и физически линейный, подчиняется закону Гука;

б) удар бойка – абсолютно неупругий, при коэффициенте восстановления $k_b=0$:

в) характер аналитической зависимости между усилиями P , P_y и соответствующими перемещениями w_0 , w_{0y} остается неизменным при статической P и динамической $P_y = P_y(t)$ нагрузках (t – время):

$$P = \frac{4}{3} \cdot \frac{R^{\frac{1}{2}} \cdot E}{1 - \mu^2} \cdot w_o^{\frac{3}{2}} \quad (2.51)$$

$$P_y = \frac{4}{3} \cdot \frac{R^{\frac{1}{2}} \cdot E}{1 - \mu^2} \cdot w_{oy}^{\frac{3}{2}} \quad (2.52)$$

где μ - коэффициент Пуассона материала твердой среды, имеющей модуль упругости E (рисунок 2.8);

г) время соударения (контакта) t_y идентично моменту реализации наибольшего перемещения перекося сжатия w_{om} (рисунок 2.8), что соответствует, в свою очередь, падению до нуля скорости v перемещения бойка G ($0 \leq t \leq t_y$), т.е.

$$v = v(t_y) = \left[\frac{dw_{oy}}{dt} \right]_{t=t_y} = 0 \quad (2.53)$$

$$v = v(t) = \frac{dw_{oy}}{dt} \quad (2.54)$$

тогда, для $t > t_y$, соотношение P_y зависимости давления в точке соударения $q_y = q_y(r, t)$, описывается формулами Герца-Штаермана:

$$q_y = q_y(r, t) = q_{oy}(t) \sqrt{1 - \left(\frac{r}{\alpha_y}\right)^2}, \quad 0 \leq r \leq \alpha_y \quad (2.55)$$

$$\text{с экстремумом} \quad q_{oy} = q_{oy}(t) = \frac{3 \cdot P_y}{2\pi \cdot \alpha_y^2} \quad (2.56)$$

$r=0$ для середины сегмента (полусферы) соприкосновения ($P_y=0, t > t_y$);

е) после разгрузки, когда $P_y=0$, деформации в упругой среде исчезают практически мгновенно [50, с. 32–42; 81, с. 15–24; 86, с. 24–27].

Исследуем и оценим возможность использования метода коллокации для приближенного определения основных параметров импульсного контактного взаимодействия сферического штампа с поверхностью полупространства, к которым относятся (рисунок 2.8):

$w_{om}=w_{oy}(t_y)$, $\alpha_m=\alpha_y(t_y)$ – соответственно, наибольшие значения перемещения w_{oy} точки «О» начала отсчета цилиндрических координат z , r и радиуса контактной площадки:

$$\alpha_m = \sqrt{w_{om} \cdot R}; \quad (2.57)$$

$P_{ym}=P_y(t_y)$ – максимальное сжимающее усилие, возникающее при ударе;
 $q_{om}=q_{oy}(t_y)$ – экстремальная величина функциональной зависимости
(2.55), представляемая, на основании (2.52), (2.56) и (2.57), в виде

$$q_{om} = \frac{3 \cdot P_{ym}}{2\pi \cdot \alpha_m^2} = \frac{2 \cdot E}{\pi \cdot (1 - \mu^2)} \cdot \left(\frac{w_{om}}{R} \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (2.58)$$

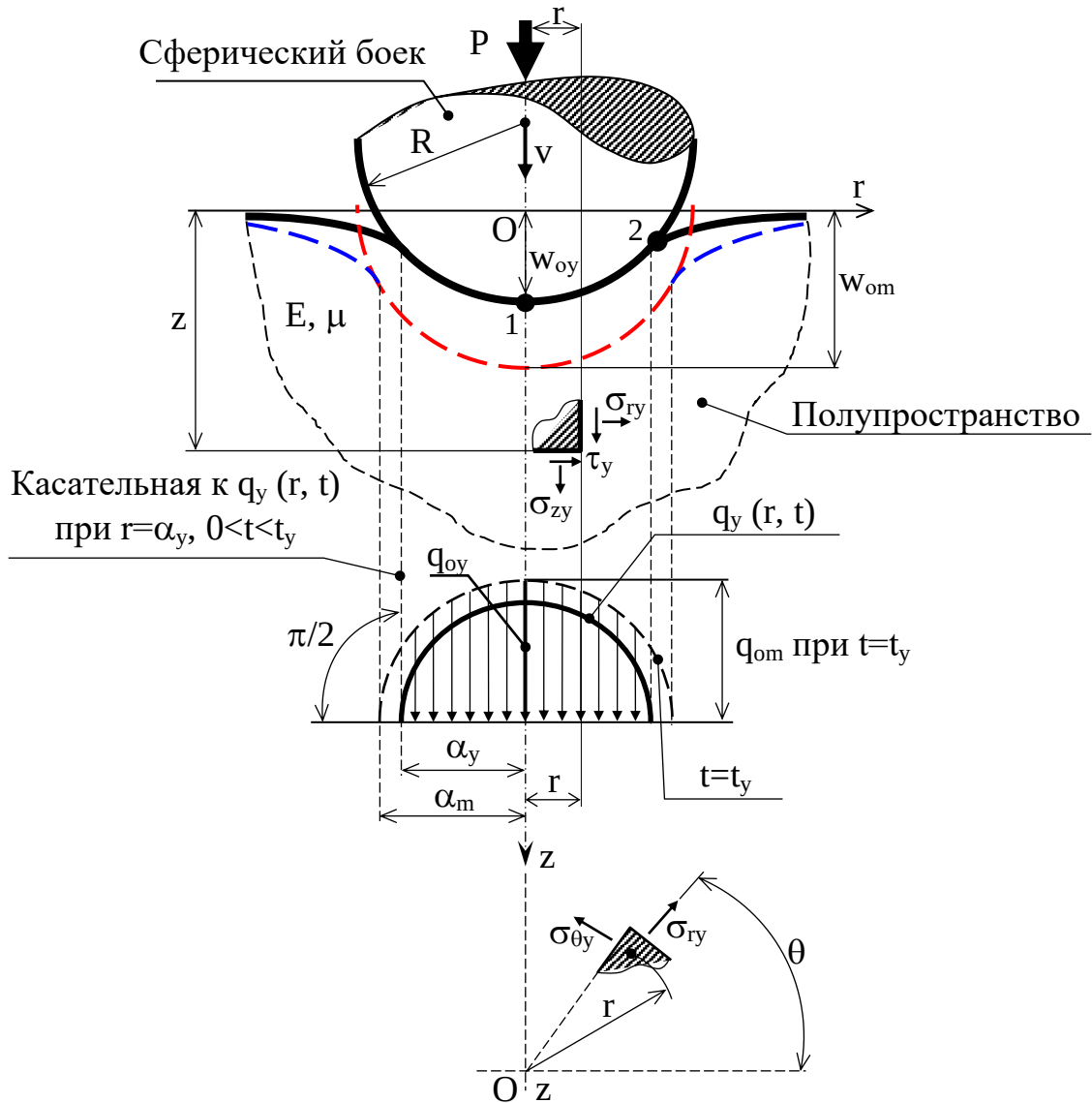


Рисунок 2.8 – Расчетная схема ударного взаимодействия бойка и полупространства

Исходное дифференциальное уравнение моделируемой динамической системы с одной степенью свободы, описывающее движение точечной массы $m = \frac{P}{g}$ со скоростью v , выглядит следующим образом:

$$\frac{P}{g} \cdot \frac{dv}{dt} = \frac{P}{g} \cdot \frac{d^2 w_{oy}}{dt^2} = -P_y, \quad (2.59)$$

или, принимая во внимание формулу (2.52),

$$\frac{d^2 w_{oy}}{dt^2} = \frac{dv}{dt} = -K \cdot w_{oy}^{\frac{3}{2}}, \quad (2.60)$$

где K – постоянный коэффициент

$$K = \frac{4 \cdot g \cdot R^{\frac{1}{2}} \cdot E}{3 \cdot P \cdot (1 - \mu^2)}; \quad (2.61)$$

g – ускорение силы тяжести ($g=9,81 \text{ м/с}^2$).

Руководствуясь [50, с. 32–42; 81, с. 15–24], преобразуем равенство (2.60):

$$\frac{dv}{dw_{oy}} \cdot \frac{dw_{oy}}{dt} = -K \cdot w_{oy}^{\frac{3}{2}}, \quad (2.62)$$

откуда после замены

$$\frac{dw_{oy}}{dt} = v, \quad (2.63)$$

имеем

$$v \cdot dv = -K \cdot w_{oy}^{\frac{3}{2}} \cdot dw_{oy}. \quad (2.64)$$

Пусть при $t=0$

$$w_{oy}(0) = 0, \quad v_0 = v(0); \quad (2.65)$$

то есть отсутствует перемещение $w_{oy}(0)$ массы m , а ее заданная начальная скорость в момент времени, предшествующий соударению тел, равна v_0 . Тогда, интегрируя уравнение (2.64) в пределах $v_0 \leq v$ и $0 \leq w_{oy}$, получаем

$$\frac{1}{2} \cdot (v^2 - v_0^2) = -\frac{2}{5} \cdot K \cdot w_{oy}^{\frac{5}{2}}. \quad (2.66)$$

На основе приближенного определения параметров импульсного контактного взаимодействия сферического бойка с поверхностью полупространства (рисунок 2.8), а именно, составив и решив дифференциальное уравнение моделируемой динамической системы с одной степенью свободы, описывающее движение массы $m=G/g$ со скоростью v , проведя ряд замен, а также учитывая, что при $t=0$ перемещение массы m - $w_{oy}(0)=0$, скорость массы m в начале соударения тел $v(0)=v_0$, а в конце соударения - $v(t_y)=0$, получим выражения для определения величин, характеризующих процесс взаимодействия сферического бойка со льдом

(рисунок 2.8) [17, с. 60-65; 45, с. 13-15; 71, с. 1-8; 73, с. 49-56; 81, с.15-24]:

– $w_{om}=w_{oy}(t_y)$ - наибольшее значение перемещения w_{0y} точки «О» начала отсчета цилиндрических координат z , r , то есть величина максимального проникновения бойка в полупространство [33, с. 1-6]:

Если подставить в соотношение (2.66) $v=v(t_y)=0$, то, по условию (2.53) с учетом (2.61), определим величину экстремального сближения бойка (штампа):

$$w_{om} = w_{oy}(t_y) = \left(\frac{5}{4} \cdot \frac{v_0^2}{K} \right)^{\frac{2}{5}} = \left\{ \left[\frac{15}{16} \cdot \frac{G}{g} \cdot \frac{1-\mu^2}{E} \right]^2 \cdot \frac{v_0^4}{R} \right\}^{\frac{1}{5}}, \text{ м}, \quad (2.67)$$

$$\text{где } K - \text{ постоянный коэффициент; } K = \frac{4 \cdot g \cdot R^{\frac{1}{2}} \cdot E}{3 \cdot G \cdot (1-\mu^2)};$$

- $\alpha_m=\alpha_y(t_y)$ – наибольшее значение радиуса контактной площадки.

Зная w_{om} , находим, согласно (2.52), (2.57), (2.58) и (2.61), искомые максимальные параметры P_{ym} , α_m , q_{om} :

$$P_{ym} = P_y(t_y) = \frac{4}{3} \cdot \frac{R^{\frac{1}{2}} \cdot E}{1-\mu^2} \cdot w_{om}^{\frac{3}{2}} = \frac{4}{3} \cdot \left[\left(\frac{15}{16} \cdot \frac{G}{g} \right)^3 \cdot R \cdot \frac{E^2}{(1-\mu^2)^2} \cdot v_0^6 \right]^{\frac{1}{5}}, \text{ Н}; \quad (2.68)$$

$$\alpha_m = \alpha_y(t_y) = (w_{om} \cdot R)^{\frac{1}{2}} = \left[\frac{15}{16} \cdot \frac{G}{g} \cdot \frac{1-\mu^2}{E} \cdot R^2 \cdot v_0^2 \right]^{\frac{1}{5}}, \text{ м}; \quad (2.69)$$

– $q_{om}=q_{oy}(t_y)$ – экстремальная величина функциональной зависимости (2.55), представляемая на основании (2.51, 2.52) в виде

$$q_{om} = \frac{3 \cdot P_{ym}}{2\pi \cdot \alpha_m^2} = \frac{2 \cdot E}{\pi \cdot (1-\mu^2)} \cdot \left(\frac{w_{om}}{R} \right)^{\frac{1}{2}} = \frac{2}{\pi} \cdot \left[\frac{15}{16} \cdot \frac{G}{g} \cdot \frac{E^4}{(1-\mu^2)^4} \cdot \frac{v_0^2}{R^3} \right]^{\frac{1}{5}}, \text{ Па}. \quad (2.70)$$

Найдем напряжения на периферии (точка 2, рисунок 2.8) площадки контакта сферического бойка со льдом [9, с. 23-26; 17, с. 60-65; 86, с. 24-27]:

$$\sigma = \frac{(1-2\cdot\mu)}{3} \cdot q = \frac{2 \cdot (1-2\cdot\mu)}{3 \cdot \pi} \cdot \left[\frac{15}{16} \cdot \frac{G}{g} \cdot \frac{E^4}{(1-\mu^2)^4} \cdot \frac{v_0^2}{R^3} \right]^{\frac{1}{5}}, \text{ Па}, \quad (2.71)$$

где $q=q_{om}$, определяемое по выражению (2.30).

Из формулы (2.71) после преобразований получаем зависимости для определения массы m бойка и скорости его соударения со льдом:

$$m = \frac{3888 \cdot (1 - \mu^2)^4 \cdot R^3 \cdot \pi^5 \cdot [\sigma]^5}{480 \cdot E^4 \cdot v_0^2 \cdot (1 - 2 \cdot \mu)^5}, \text{ кг}, \quad (2.72)$$

$$v_0 = \sqrt{\frac{3888 \cdot (1 - \mu^2)^4 \cdot R^3 \cdot \pi^5 \cdot [\sigma]^5}{480 \cdot E^4 \cdot m \cdot (1 - 2 \cdot \mu)^5}}, \text{ м/с} \quad (2.73)$$

где $[\sigma]$ – допускаемое напряжения разрушения льда, Па.

В программе Microsoft Excel был произведен расчет массы сферического бойка m по формуле (2.72) и скорости его соударения v по формуле (2.73) для соответствующих условий при следующих исходных данных: частота вращения рабочего органа $n=116$ об/мин, расстояние от оси вращения рабочего органа до центра масс бойка $r=400$ мм, боек – стальная сфера радиусом $R=0,025$ м, допускаемое напряжение разрушения льда для точки 2 – $[\sigma]=2$ МПа, для точки 1 – $[\sigma]=3$ МПа. Результаты расчетов массы m и скорости v бойка представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Масса бойка по формуле (2.72) и скорость соударения по формуле (2.73) при допускаемом напряжении разрушения льда

R, м	0	0,025	0,05	0,08	0,1
m, кг, при $[\sigma]=2$ МПа в т.2	0	$1,31 \cdot 10^{-8}$	$1,05 \cdot 10^{-7}$	$4,31 \cdot 10^{-7}$	$8,41 \cdot 10^{-7}$
v, м/с, при $[\sigma]=2$ МПа в т.2	0	0,00078	0,00078	0,00078	0,00078

Как видно из таблицы 2.1 расчетная масса бойка, как и скорость, во всех случаях очень малы и, как следует из практического опыта, не позволят разрушить лед даже достаточно малой толщины, что говорит о неверной количественной оценке процесса разрушения льда по теоретическим формулам (2.72), (2.73), что можно объяснить сложностью и трудностью теоретического описания реального поведения льда в процессе деформации и разрушения [11, с. 17-58; 36, с. 102-110; 44, с. 177-191; 47, с. 157-164]. Например, это может быть обусловлено отличием реальных условий разрушения льда, от условий, при которых определялось допустимое напряжение разрушения, невозможностью учесть потери энергии, принятым допущением, что лед - упругая среда, тогда как реальное поведение льда более сложное, а также и др.

Таким образом, необходима корректировка полученных теоретических зависимостей так, чтобы они давали верную количественную оценку процессу разрушения льда при ударе сферического бойка и могли быть практически использованы. Корректировку возможно провести эмпирическим путем, то есть на основе экспериментальных исследований.

В основу эмпирической корректировки полученных теоретических зависимостей положим предположение, что неточность результатов теоретического расчета в основном вызвана тем, что реальные напряжения в

слое льда при его разрушении на практике оказываются гораздо больше общепринятых допустимых значений. Исходя из этого, в теоретические зависимости следует внести эмпирические поправки, необходимо и достаточно учитывающие реальную картину разрушения льда [11, с. 81-82].

Замкнутое решение (2.66) нелинейного дифференциального уравнения (2.62) возможно только для бесконечного однородного полупространства из линейно-упруго деформируемого изотропного материала (см. допущение а)). В случаях, когда данная предпосылка не соблюдается, например, для многослойной среды, точное интегрирование правой части равенства (2.64) станет невозможным. Учитывая это важнейшее с практической точки зрения обстоятельство, определяем функцию $w_{oy}^* = w_{oy}^*(t)$ базового дифференциального уравнения (2.60) наиболее простым, но достаточно эффективным приближенным аналитическим методом коллокации [74, с. 62-72] с двумя точками на оси t , имеющими координаты:

$$t_1 = 0, \quad t = t_2 = \eta \cdot t_y; \quad (2.74)$$

где η - пока неизвестный коэффициент, величина которого изменяется в диапазоне

$$0 < \eta \leq 1. \quad (2.75)$$

В качестве аппроксимирующего выражения для $w_{oy}^* = w_{oy}^*(t)$ воспользуемся решением аналогичного (2.60), но линейного дифференциального уравнения свободных незатухающих колебаний системы с одной степенью свободы [75, с. 173-192; 81, с. 15-24; 86, с. 24-27]:

$$\frac{d^2 w_{oy}^*}{dt^2} + \beta^2 \cdot w_{oy}^* = 0, \quad (2.76)$$

откуда

$$w_{oy}^* = C \cdot \sin \beta t, \quad 0 \leq t \leq t_y; \quad (2.77)$$

где C , β - соответственно, амплитуда и круговая частота колебательного процесса.

Из допущения г) (см. выше) об отсутствии колебаний в модели рисунка 2.8, а также предпосылки д) - о продолжительности t_y удара, следует, что область определения переменной t должна быть ограничена четвертью периода $T = \frac{2\pi}{\beta}$, изменения первой синусоиды (рисунок 2.9),

$$0 \leq t \leq t_y = \frac{T}{4} = \frac{\pi}{2\beta} \quad (2.78)$$

а функция (2.77), удовлетворяющая тем же начальным условиям (см. (2.65))

$$w_{oy}^*(0) = 0, \quad \left[\frac{dw_{oy}^*}{dt} \right]_{t=0} = v_0 \quad (2.79)$$

принимает максимальное значение

$$w_{om}^* = w_{oy}^*(t_y) = C. \quad (2.80)$$

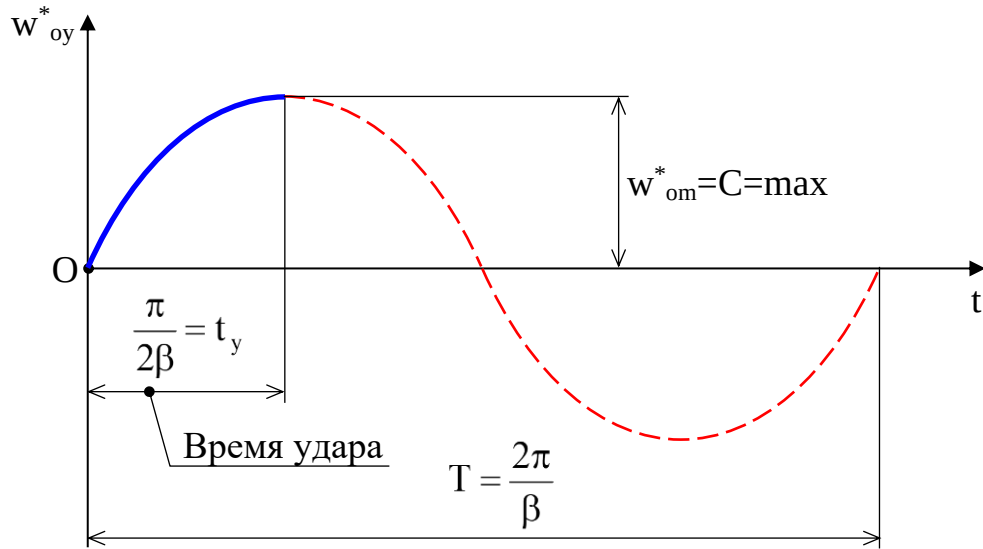


Рисунок 2.9 – Общий характер графика функциональной зависимости (2.77)

Нетрудно проверить, что при подстановке w_{oy}^* , согласно (2.77) в уравнение (2.60), тождественно соблюдается нулевое равенство

$$-C \cdot \beta^2 \cdot \sin \beta t = -K \cdot (\sin \beta t)^{\frac{3}{2}} \Rightarrow 0 \equiv 0 \quad (2.81)$$

в первой коллокационной точке $t_1=0$, так как $\frac{d^2 w_{oy}^*}{dt^2} = -C \cdot \beta^2 \cdot \sin \beta t$.

При этом из неоднородного граничного условия (2.79) будем иметь

$$\left[\frac{dw_{oy}^*}{dt} \right]_{t=0} = v(0) = [C \cdot \beta \cdot \cos \beta t]_{t=0} = v_0, \quad C = \frac{v_0}{\beta}, \quad (2.82)$$

и формула (2.77) преобразуется к виду

$$w_{oy}^* = \frac{v_0}{\beta} \cdot \sin \beta t, \quad 0 \leq t \leq t_y. \quad (2.83)$$

Далее, для определения параметра β предварительно модифицируем функцию (2.83), заменой β на его значение

$$\beta = \frac{\pi}{2t_y}, \quad (2.84)$$

соответствующее, с учетом (2.78), экстремальному перемещению w_{om}^* и конечной скорости

$$v_k(t_y) = v_0 \cdot \cos \beta t_y = 0, \quad (2.85)$$

если $v_0 \neq 0$, а $\cos \beta t_y = 0 \Rightarrow \beta t_y = \frac{\pi}{2} \Rightarrow$ формула (2.84).

После этой процедуры (см. выражение (2.83))

$$w_{oy}^* = \frac{v_0}{\beta} \cdot \sin \frac{\pi}{2} \cdot \frac{t}{t_y} = \frac{2 \cdot v_0 \cdot t_y}{\pi} \cdot \sin \frac{\pi}{2} \cdot \frac{t}{t_y}. \quad (2.86)$$

Реализуя алгоритм метода коллокации [74, с. 62-72; 89, 90], потребуем, чтобы уравнение (2.60) удовлетворялось и в некоторой второй точке t_2 , параметры которой должны соответствовать условиям (2.74) – (2.75).

Подставив (2.86) в (2.60), получаем

$$-\frac{2 \cdot v_0 \cdot t_y}{\pi} \cdot \frac{\pi^2}{4 \cdot t_y^2} \cdot \sin \frac{\pi}{2} \cdot \frac{t_2}{t_y} = -K \cdot \left(\frac{2 \cdot v_0 \cdot t_y}{\pi} \cdot \sin \frac{\pi}{2} \cdot \frac{t_2}{t_y} \right)^{\frac{3}{2}}; \quad (2.87)$$

откуда следует, с учетом (2.74) и (2.84),

$$\beta \cdot v_0 \cdot \sin \frac{\pi}{2} \eta = K \cdot \left(\frac{v_0}{\beta} \right)^{\frac{3}{2}} \cdot \left(\sin \frac{\pi}{2} \eta \right)^{\frac{3}{2}} \quad (2.88)$$

$$\beta = K^{\frac{2}{5}} \cdot v_0^{\frac{1}{5}} \cdot \left(\sin \frac{\pi}{2} \eta \right)^{\frac{1}{5}}; \quad (2.89)$$

где коэффициент η на интервале (2.75) определяется отношением

$$\eta = \frac{t_2}{t_y}. \quad (2.90)$$

Продолжая решение задачи, находим абсолютную деформацию w_{om}^* границы $z=0$ полупространства (рисунок 2.8), используя соотношение (2.86) при $t=t_y$ и формулу (2.89):

$$w_{om}^* = \left(\frac{v_0^2}{K}\right)^{\frac{2}{5}} \cdot \left(\sin \frac{\pi}{2} \eta\right)^{-\frac{1}{5}}. \quad (2.91)$$

Параметр η , для координаты t_2 вычисляем из равенства

$$w_{om}^* = w_{om}, \quad (2.92)$$

раскрытие которого, с помощью (2.67) и (2.91), приводит к численным результатам

$$\eta = \frac{2}{\pi} \arcsin \frac{16}{22} = 0,44213, \quad t_2 = 0,44213 t_y \quad (2.93)$$

в пределах вышеуказанного диапазона (2.75) с практически нулевой погрешностью у перемещения w_{om}^* по отношению к математически точному значению w_{om} и, как следствие, полной адекватности выведенных формул (2.68) – (2.73).

Из выражения (2.84) получаем, учитывая (2.89) и (2.93), приближенную формулу для расчета продолжительности удара

$$t_y^* = \frac{\pi}{2\beta} = \frac{\pi}{2} \left[K^2 \cdot v_0 \cdot \sin \left(\frac{\pi}{2} \eta \right) \right]^{-\frac{1}{5}} = 1,717 \cdot (K^2 \cdot v_0)^{-\frac{1}{5}}, \quad (2.94)$$

где коэффициент β определяется в соответствии с (2.89) и (2.93):

$$\beta = K^{\frac{2}{5}} \cdot v_0^{\frac{1}{5}} \cdot \left(\sin \frac{\pi}{2} \eta \right)^{\frac{1}{5}} = 0,91461 \cdot (K^2 \cdot v_0)^{\frac{1}{5}}. \quad (2.95)$$

Для нахождения точного значения t_y трансформируем ранее полученное решение (2.66) к виду [71, с. 99-105; 73, с. 10-25; 74, с. 62-72; 81, с. 15-24]:

$$v = \sqrt{v_0^2 - \frac{4}{5} \cdot K \cdot w_{oy}^{\frac{5}{2}}}. \quad (2.96)$$

Заменяя v через $\frac{dw_{oy}}{dt}$ и умножая на dt обе части равенства (2.96), получим:

$$dw_{oy} = \sqrt{v_0^2 - \frac{4}{5} \cdot K \cdot w_{oy}^{\frac{5}{2}}} \cdot dt \quad (2.97)$$

Разделяя переменные в дифференциальном выражении (2.97), будем иметь:

$$dt = \frac{dw_{oy}}{\sqrt{v_0^2 - \frac{4}{5} \cdot K \cdot w_{oy}^{\frac{5}{2}}}} \quad (2.98)$$

Для интегрирования этого уравнения в пределах от 0 до t и от 0 до w_{oy} вводим в (2.98) новую переменную X, используя алгебраическое соотношение (2.67). Результатом этой математической операции является [73, с. 10-25]:

$$\frac{w_{oy}}{w_{om}} = X, \quad dt = \frac{dw_{om} \cdot dX}{v_0 \cdot \sqrt{1 - X^{\frac{5}{2}}}}; \quad (2.99)$$

откуда получаем для продолжительности соударения t_y выражение

$$t_y = \frac{w_{om}}{v_0} \cdot \int_0^1 \frac{dX}{\sqrt{1 - X^{\frac{5}{2}}}} \quad (2.100)$$

Интеграл в правой части равенства (2.100) не является элементарным и для его раскрытия применяем справочную формулу [85, с. 88]

$$\int_0^1 \frac{dX}{\sqrt{1 - X^m}} = \frac{\sqrt{\pi}}{m} \cdot \frac{\Gamma(\frac{1}{m})}{\Gamma(\frac{2+m}{2m})}, \quad m > 0; \quad (2.101)$$

где $\Gamma(\frac{1}{m})$, $\Gamma(\frac{2+m}{2m})$ - гамма-функции или эйлеровы интегралы второго рода, определяемые в численном виде с помощью таблиц специальных функциональных зависимостей. В данном случае $m = \frac{5}{2}$ и по методике [11, с. 15-17]:

$$\Gamma(\frac{1}{m}) = \Gamma(\frac{2}{5}) = \frac{5\Gamma(\frac{2}{5} + 1)}{2} = \frac{5}{2} \Gamma(\frac{7}{5}) = \frac{5}{2} \cdot 0,88726, \quad (2.102)$$

$$\Gamma(\frac{2+m}{2m}) = \Gamma(\frac{9}{10}) = \frac{10\Gamma(\frac{9}{10} + 1)}{9} = \frac{10}{9} \Gamma(\frac{19}{10}) = \frac{10}{9} \cdot 0,96177, \quad (2.103)$$

$$t_y = 1,4716 \cdot \frac{1}{v_0} \cdot \left(\frac{5}{4} \cdot \frac{v_0^2}{K} \right)^{\frac{2}{5}} = 1,609 \cdot (K^2 \cdot v_0)^{-\frac{1}{5}}. \quad (2.104)$$

(2.104) выведена с учетом (2.67), (2.100)

Относительная погрешность $\Pi_{\%}$ приближенного решения t_y^* , согласно (2.94), составляет

$$\Pi_{\%} = \frac{|t_y - t_y^*|}{t_y} \cdot 100\% = \frac{|1,609 - 1,717|}{1,609} \cdot 100\% \approx 6,71\%. \quad (2.105)$$

В инженерно-технических расчетах на удар, где главными параметрами являются не продолжительность t_y контактного взаимодействия тел, а экстремальные механико-геометрические характеристики (2.67) – (2.70), установленная ошибка, равная 6,71%, не играет существенного значения с эксплуатационно-технологической и конструктивной точек зрения.

Для примера рассмотрим расчет контактного давления q и напряжений σ , создаваемых рабочим органом со сферической контактной поверхностью радиусом $R=0,05$ м, движущимся со скоростью $v=0,523$ м/с ($n=50$ об/мин, радиус расположения рабочих органов $r=0,1$ м), весом $G=0,5$ Н (массой $0,05$ кг) по снежно-ледяному образованию, имеющему: толщину, равную 1 мм, модуль упругости $E=4850$ МПа; коэффициент Пуассона $\mu=0,33$. При $g=9,81$ м/с², выполняя последовательный расчет, находим величину контактного давления q рабочего органа на снежно-ледяное образование:

$$K = \frac{4 \cdot g \cdot \sqrt{R} \cdot E}{3 \cdot G \cdot (1 - \mu^2)} = \frac{4 \cdot 9,81 \cdot \sqrt{0,05} \cdot 4850 \cdot 10^6}{3 \cdot 0,05 \cdot [1 - (0,33)^2]} = 318374,3 \cdot 10^6 \text{ с}^{-2} \cdot \text{м}^{-1/2};$$

$$w = \left(\frac{5}{4} \cdot \frac{v^2}{K} \right)^{\frac{2}{5}} = \left(1,25 \cdot \frac{v^2}{K} \right)^{\frac{2}{5}} = \left[1,25 \cdot \frac{(0,523)^2}{318374,3 \cdot 10^6} \right]^{\frac{2}{5}} = 0,0000163 \text{ м};$$

$$P = \frac{4}{3} \cdot \frac{\sqrt{R} \cdot E}{1 - \mu^2} \cdot w^{\frac{3}{2}} = \frac{4}{3} \cdot \frac{\sqrt{0,05} \cdot 4850 \cdot 10^6}{[1 - (0,33)^2]} \cdot (0,0000163)^{\frac{3}{2}} = 106,8 \text{ Н};$$

$$\alpha = \sqrt{w \cdot R} = \sqrt{0,0000163 \cdot 0,05} = 0,000903 \text{ м};$$

$$q = \frac{3 \cdot P}{2\pi \cdot \alpha^2} = \frac{3 \cdot 106,8}{2\pi \cdot (0,000903)^2} \approx 625687333 \text{ Па (Н/м}^2\text{)} = 62,6 \text{ МПа};$$

$$\sigma = \frac{q}{3} \cdot (1 - 2 \cdot \mu) = \frac{62,6}{3} [1 - 2 \cdot 0,33] = 7,09 \text{ МПа}.$$

Полученная численная величина напряжения в снежно-ледяном образовании $\sigma=7,09$ МПа превышает прочность льда $\sigma_{\text{льда}}=1,3...3$ МПа, но меньше предела прочности дорожного покрытия, выполненного, например, из асфальтобетона $\sigma_{\text{покр}}=9...12$ МПа, при этом величина деформации снежно-ледяного образования $w=0,0163$ мм не превышает толщины снежно-ледяного образования, равной 1 мм, что обеспечивает разрушение снежно-ледяного образования, но предотвращает повреждение дорожного покрытия.

Выводы.

1. Полученная механико-математическая модель позволяет определить минимальную величину контактного давления q , необходимую для разрушения снежно-ледяного образования, что устраняет необходимость применять избыточное по величине воздействие с запасом энергии, то есть снижает энергозатраты на процесс разрушения снежно-ледяных образований и позволяет сэкономить энергию;

2. При вращении приводного вала льдоскалывателя вместе со сменными секциями и инерционными бойками в направлении вращения его ведущих колес, мощность дробления СЛО в 2-3 раза ниже, чем при обратном вращении;

3. Для более точной оценки несущей способности упруго деформируемого пространства, моделируемого расчетной схемой рисунка 2.8, необходимы функции напряжений σ_{xy} , $\sigma_{\theta y}$, σ_{zy} , τ_y и гипотеза прочности, применительно к конкретному однородному изотропному материалу. Соответствующие формулы приведены в [91, с. 15-121; 92, с. 455-521], а возможность их практического применения непосредственно связана с размером α_m деформированной контактной поверхности полупространства, аппроксимируемым аналитическим соотношением (2.69). В этой же связи можно отметить, что взятая здесь за основу квазистатическая модель динамического взаимодействия груза P с полу бесконечным пространством, проверена экспериментально и хорошо согласуется с теорией, описывающей соударение двух стальных сфер (рисунок 2.7);

4. Полученные результаты могут быть непосредственно использованы во многих научно-технических приложениях, в частности, для решения актуальной динамической задачи на ударное воздействие стального сферического бойка по слою льда (с целью его разрушения), образующегося на асфальтобетонных дорогах и покрытиях аэродромов;

5. Величина силы разрушения ледяного покрытия или СЛО, генерируемая инерционными бойками рабочего оборудования, была принята в качестве отклика. Данный показатель соответствует всем требованиям, необходимым для функции отклика, он является совокупно обобщенным и полным описанием объекта исследования, имеет размерную оценку и физический смысл.

3 МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА РАЗРУШЕНИЯ ЛЬДА ИНЕРЦИОННЫМИ БОЙКАМИ-УДАРНИКАМИ ЛЬДОСКАЛЫВАТЕЛЯ

3.1 Этапы, задачи и общая схема экспериментальных исследований

В соответствии с задачами исследований, сформулированными на основе обзора научных исследований, приведённых в первой главе, экспериментальные работы включали в себя (рисунок 3.1):

1) Исследования механических характеристик обледенелой поверхности автомобильных дорог. Экспериментальная проверка модели нового оборудования для разрушения льда ударом.

2) Проведение экспериментальных исследований эффективности работы рабочего органа ударного действия опытно-промышленного образца льдоскалывателя. Экспериментальная проверка и уточнение математического формирования напряженности рабочей секции льдоуборочной машины и взаимодействия со льдом и уплотнённым снегом единичного бойка-ударника.

3) Экспериментальные исследования единичной рабочей секции льдоскалывателя в натурной обстановке.

4) Подготовка имитационного образца и экспериментальных опытов с рабочей ударной секцией льдоскалывателя с ударниками в виде рабочей полусферы на гибком подвесе [72, с. 99-105].

Общая схема экспериментальных исследований дана на рисунке 3.1.

Среди наиболее эффективных способов механического разрушения льда можно выделить воздействие ударом [9, с. 15-18; 11, с. 30-61; 16, с. 4-12], а особо, - ударное воздействие сферической поверхностью, применение которой, помимо эффективного разрушения льда, практически исключает повреждение при этом самого покрытия дороги или тротуара.

При выполнении проекта АР05130746 – «Механизированный комплекс для очистки дорог и тротуаров в зимнее время» по гранту КН МНиВО РК были разработаны рабочие органы со сферическими и кубическими бойками для разрушения ударом льда на дорогах и тротуарах [17, с. 60-65; 44, с. 177-191; 45, с. 8-27; 81, с. 15-24; 73, с. 6-35].

Как видно из данной схемы второй этап исследований проводится в стендовых условиях, а первый и третий – в натурных. В нашем случае натурные испытания проводились на экспериментальном опытно-промышленном образце (модели), но в естественных, не лабораторных, условиях. В лабораторных исследованиях проводились испытания на прочность и деформативность гибких тяг ударно-разрушающих элементов (УРЭ). Соответственно, в дальнейшем, стендовые исследования и исследования экспериментальных моделей также будут проводиться в лабораторных условиях, а опытные конструкторские образцы натурального навесного рабочего оборудования – целиком в реальных условиях города.

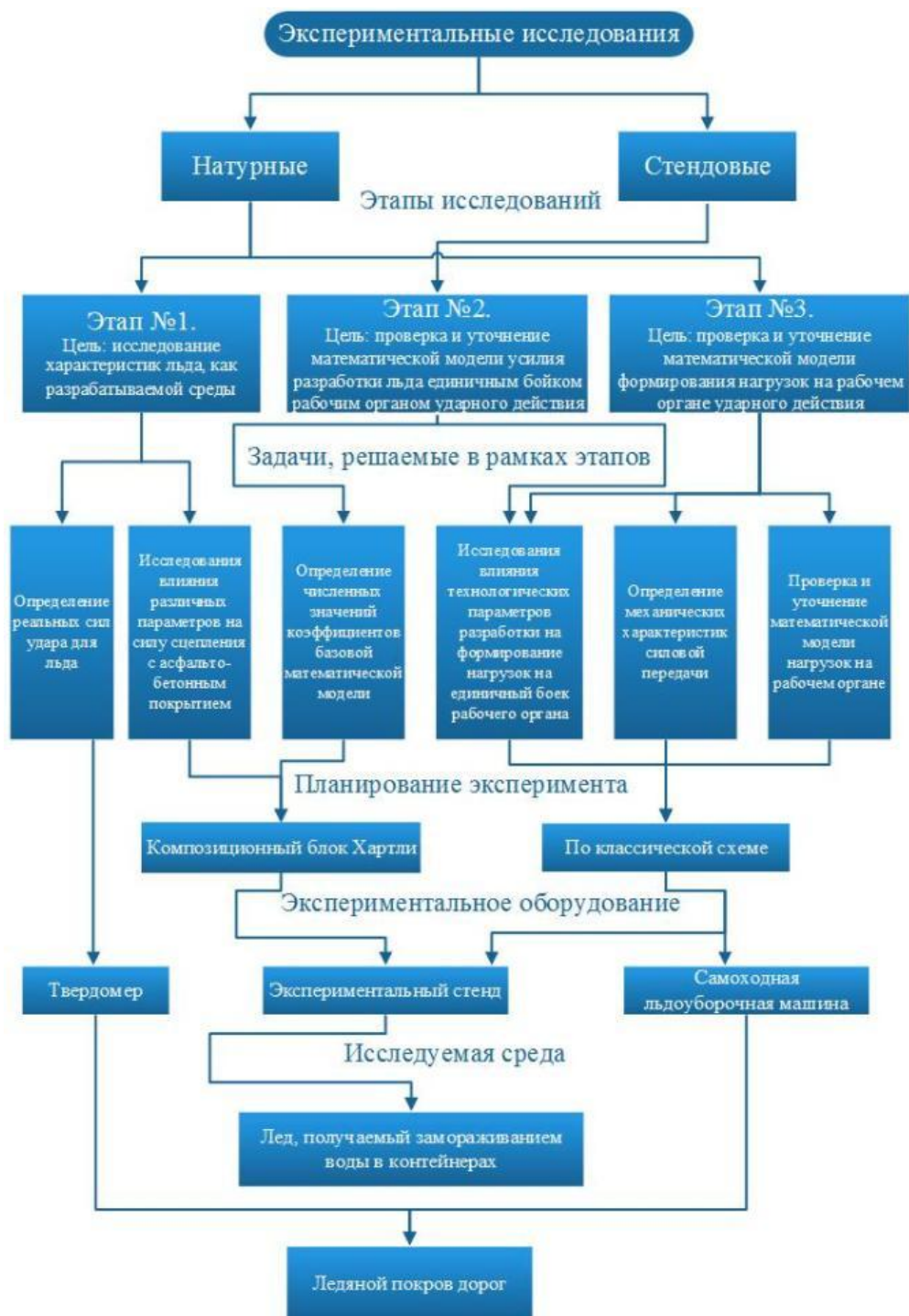


Рисунок 3.1 - Схема экспериментальных исследований

Экспериментальные исследования ледяного покрова как разрабатываемой среды заключались в определении статистических характеристик толщин обледенения на дорогах и тротуарах в районе города Усть-Каменогорска. Также проведены опыты по определению прочности и плотности ледяного наката при помощи плотномера ПДУ-МГ4 [93, сайт] и ударника ДОРНИИ. Сила сцепления льда и уплотнённого снега определялась с использованием прибора ELCOMETER 106 для определения адгезии льда к асфальтобетонной поверхности дорог [94, с. 1-12].

3.2 Методика и проведение эксперимента в лабораторных условиях

Прежде чем проводить опыты на натурной машине с навесным льдоскалывателем, проведем серию экспериментов на лабораторном стенде.

Изучим методологический подход и установим связь между характеристиками единичной рабочей ударной секции льдоскалывателя и особенностями разбиваемого льда [72, с. 99-105; 95, с. 1-5].

Поскольку рассматриваемая рабочая ударная секция в составе льдоскалывателя должна разрушать СЛЮ на дорожном покрытии, не разрушая при этом самого покрытия, вся энергия, сообщенная ударнику приводом, должна при их взаимодействии поглощаться льдом, то есть в момент касания предполагается полный переход кинетической энергии ударника в энергию разрушения льда за отрезок времени удара t [72, с. 99-105; 88, с. 278-289].

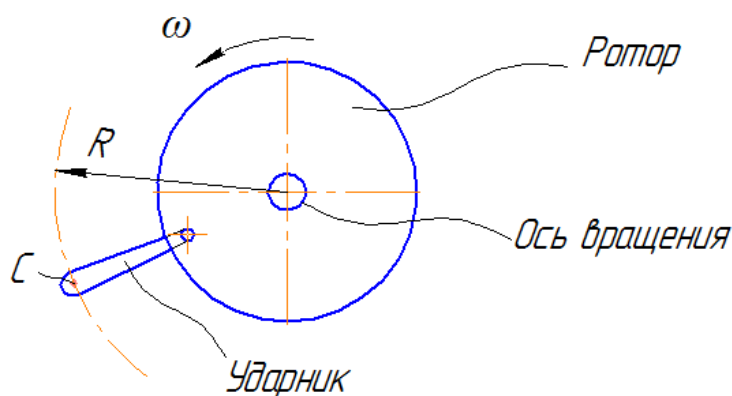
Кинетическая энергия ударника определяется по общеизвестной формуле:

$$E_k = \frac{m \cdot v^2}{2}, \text{ Дж}, \quad (3.1)$$

где m – масса ударника, кг;

v – линейная скорость движения ударника, м/с.

Для определения линейной скорости движения ударника составим расчетную схему, показанную на рисунке 3.2.



R – расстояние от оси вращения до центра масс C ударника, м;

ω – угловая скорость вращения рабочего органа (с^{-1})

Рисунок 3.2 – Схема для определения линейной скорости ударника

Известно, что линейная v и угловая ω скорости связаны зависимостью:

$$v = \omega \cdot R, \text{ м/с}. \quad (3.2)$$

Тогда кинетическая энергия:

$$E_k = \frac{m \cdot \omega^2 \cdot R^2}{2}, \text{ Дж}. \quad (3.3)$$

Или, учитывая, что угловая скорость ω и частота вращения n (об/мин) РО связаны соотношением $\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}$, с⁻¹:

$$E_k = \frac{m \cdot \pi^2 \cdot n^2 \cdot R^2}{2 \cdot 900}, \text{ Дж.} \quad (3.4)$$

Определим силу, необходимую для начала разрушения льда, исходя из того, что лед при воздействии на него рабочего органа испытывает сжимающую нагрузку.

Сжимающая сила определяется [88, с. 47-112; 92, с. 67-98]:

$$P = \sigma_{сж} \cdot S, \text{ Н,} \quad (3.5)$$

где $\sigma_{сж}$ – предельное напряжение сжатия льда, Па;

S – площадь поверхности соприкосновения ударника со льдом, м².

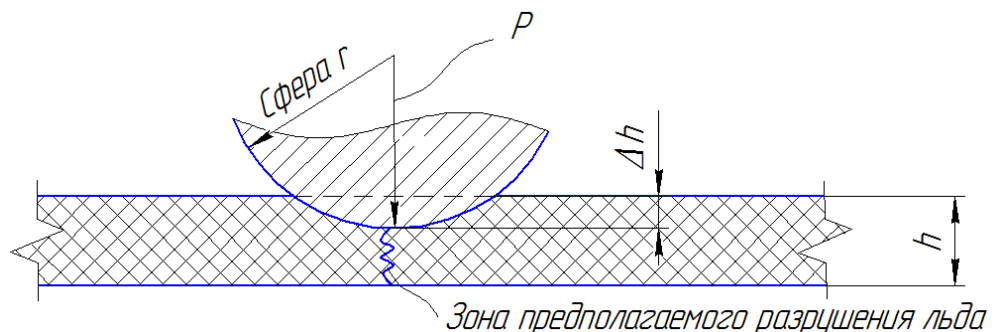
Как уже говорилось, наиболее безопасной для дорожного покрытия формой рабочей поверхности ударника является сферическая. Для определения площади поверхности соприкосновения сферического ударника со льдом составим расчетную схему (рисунок 3.3) [11, с.91-94].

Поскольку поверхность ударника сферическая, то искомая площадь – это площадь поверхности сегмента сферы:

$$S = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot \Delta h, \text{ м}^2. \quad (3.6)$$

Подставим выражение (3.6) в формулу (3.5):

$$P = 2 \cdot \sigma_{сж} \cdot \pi \cdot r \cdot \Delta h, \text{ Н.} \quad (3.7)$$



r – отрезок ударной части сферы (м); Δh – изменение взаимного положения и перемещения льда (м); h – толщина намерзшего льда (м)

Рисунок 3.3 – Расчетная схема оценки зеркала соприкосновения ударной полусферы с дробимыми льдом

Относительная деформация сжатия льда под действием ударника:

$$\varepsilon = \frac{\sigma_{сж}}{E}, \quad (3.8)$$

где E – модуль упругости для льда при сжатии, Па.

Относительная деформация также может быть определена:

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h}, \quad \text{откуда} \quad \Delta h = \varepsilon \cdot h = \frac{\sigma_{сж}}{E} \cdot h, \text{ м.} \quad (3.9)$$

Поскольку, как предполагается, вся кинетическая энергия должна потратиться на разрушение льда, то есть полностью преобразоваться в механическую работу разрушения от силы P на пути деформации Δh и перейти в потенциальную энергию разрушающих напряжений $\sigma_{сж}$, то можно приравнять подведенную кинетическую энергию ударника к механической работе разрушения и потенциальной энергии упругих деформаций:

$$E_k = P \cdot \Delta h. \quad (3.10)$$

После подстановок:
$$\frac{m \cdot \pi^2 \cdot n^2 \cdot R^2}{2 \cdot 900} = 2 \cdot \sigma_{сж} \cdot \pi \cdot r \cdot \Delta h \cdot \Delta h.$$

Откуда выразим массу ударника:

$$m = \frac{4 \cdot \sigma_{сж} \cdot \pi \cdot r \cdot \Delta h^2 \cdot 900}{\pi^2 \cdot n^2 \cdot R^2} = \frac{4 \cdot \sigma_{сж} \cdot r \cdot \Delta h^2 \cdot 900}{\pi \cdot n^2 \cdot R^2}, \text{ кг.} \quad (3.11)$$

Подставим в выражение (3.11) формулу (3.9), получим выражение для массы ударника:

$$m = \frac{4 \cdot \sigma_{сж}^3 \cdot r \cdot h^2 \cdot 900}{E^2 \cdot \pi \cdot n^2 \cdot R^2}, \text{ кг,} \quad (3.12)$$

где $\sigma_{сж}$ – наибольшее граничное усилие на сжатие льда, Па;

E – Абсолютная величина податливости льда, Па;

n – Число оборотов привода секции льдоскалывателя, об/мин;

r – Охват ударной половины сферы-бойка, м;

R – Наибольший отлет сферы-бойка от оси приводного вала, м;

h – Толщина вмерзшего в дорогу льда, м [72, с. 99-105].

Компьютерной программой Microsoft Excel был произведен расчет по

формуле (3.12) массы m единичного ударника для различных радиусов r сферической ударной поверхности и толщины h ледяной корки на асфальте при различной величине температуры воздуха (т.к. модуль упругости E и предельное напряжение при сжатии $\sigma_{сж}$ для льда зависят от температуры воздуха [5, с. 280-312; 6, с. 308-344; 96, с. 48-96] (для льда средний модуль упругости $E=4850$ МПа, среднее значение предельного напряжения $\sigma_{сж}=3$ МПа)), частоты вращения осей бойков-ударников рабочего органа (соответствующей $n=66$ об/мин) и расстоянии от оси вращения вала привода рабочего органа до середины сферических бойков-ударников ($R=400$ мм).

Чтобы убедиться, что ледяные образцы не рыхлые или пустотелые, перед началом каждого эксперимента, а также при подготовке образцов льда, после соответствующей тарировки проверялся их модуль упругости на плотномере ПДУ-МГ4 (рисунок 3.4, 3.5) или ударнике ДорНИИ.

Рыхлые, набухшие образцы также сортировались по параметрам состояния для другой серии опытов как на открытом воздухе, так и в лабораторных условиях.

Масса m сферы-ударника, определенная для двух значений толщины льда и четырех фиксированных величин температуры воздуха, как пример дана в таблице 3.1, показывающей, что вычисленная масса ударника крайне мала, а это позволяет говорить об искаженной количественной оценке процесса разбивания льда по формуле (3.12), охватывающей более сложный процесс деформации и разбивания льда при взаимодействии со сферической поверхностью ударника [71, с.1-8; 81, с. 15-25; 97, с. 356-358].

Таблица 3.1 – Зависимость массы сферического ударника от параметров рабочей секции и характеристик льда при различных климатических условиях

		t°=-4°C		t°=-10°C		t°=-15°C		t=-20°C	
		Толщина ледяного наката, h, мм							
		30	70	30	70	30	70	30	70
		Масса сферы-ударника, m, г							
Рабочий радиус сферы-ударника, г, мм	25	0,010852	0,05910	0,011652	0,063447	0,009242	0,050311	0,006808	0,03707
	30	0,013023	0,070908	0,013983	0,076137	0,011088	0,060375	0,008169	0,044473
	35	0,015196	0,082728	0,016314	0,088824	0,012938	0,070435	0,00954	0,051883
	40	0,017364	0,094544	0,018646	0,101515	0,014784	0,080498	0,010890	0,059293
	45	0,019538	0,106361	0,020978	0,114202	0,016634	0,090561	0,012254	0,066708
	50	0,021707	0,118181	0,023305	0,126891	0,018480	0,100625	0,013612	0,074141
	55	0,023876	0,129998	0,025637	0,139583	0,020323	0,110687	0,014974	0,081533
	60	0,026047	0,141818	0,027965	0,152274	0,022277	0,120757	0,016339	0,088942
	65	0,028221	0,153637	0,030297	0,164963	0,024024	0,130813	0,017696	0,096358
		0,030386	0,165454	0,032632	0,177651	0,025873	0,140871	0,019056	0,103769

Следует отметить, что предположение о полном преобразовании ударной кинетической энергии в требуемую механическую работу дробления ледяного покрытия и потенциальную энергию его соответствующей упругой деформации не совсем верно, вследствие того, что часть энергии

затрачивается на пластическую деформацию, а также преобразуется в тепловую энергию [97, с. 356-358; 98, с. 258-267].



Рисунок 3.4 – Проверка модуля упругости образцов на плотномере ПДУ-МГ4



Рисунок 3.5 – Определение прочности льда ударником ДорНИИ

То есть, получение теоретическим путем пригодной для практического расчета формулы, связывающей между собой различные параметры рабочего органа, а также учитывающей характеристики льда, весьма затруднительно, поскольку явно не определено распределение подведенной кинетической энергии ударника между протекающими процессами и одновременно

генерируемыми энергиями, как полезно потраченными, так и потерянными.

Для установления таких закономерностей необходимы экспериментальные исследования. Таким образом, получаемая зависимость для практического расчета РО должна опираться на результаты экспериментальных исследований и будет носить эмпирико-теоретический характер. За основу для получения расчетной зависимости можно взять формулу (3.12).

3.3 Исследование свойств льда и характеристик процесса его разрушения

Расчёты конструктивных параметров льдоуборочных машин с вращающимся роторным рабочим органом базируются на определении нагрузок, действующих со стороны разрабатываемой среды на разрушающие её элементы рабочих органов, которые могут быть представлены бойками или резцами.

Анализ существующих методов расчёта силы резания для ледорезных машин показал, что все они, выявляя соотношения между реальными и теоретическими процессами, требуют знания коэффициента и силы резания, получаемых при эталонных условиях. Экспериментальные исследования показали, что величина коэффициента резания колеблется в некоторых пределах, обусловленных различным состоянием ледяного покрова из-за специфических условий его формирования. Поэтому для обеспечения приемлемой точности результатов более предпочтительным является индивидуальное определение его значения в предполагаемом районе эксплуатации снегоуборочной техники, что в свою очередь требует трудоёмких натурных или стендовых экспериментов. Для льдоуборочной техники, использующей ударный метод разработки льда, необходимо выявить соотношение между реальными и теоретическими процессами удара, определить коэффициент разработки льда.

Было решено разбить экспериментальные исследования на 2 части: 1) лабораторное определение эмпирических данных о рабочем процессе разбивания ледяного налета на исследуемом покрытии путем внедрения в него сферического бойка-ударника (сбрасывания его с фиксированной высоты); 2) проведение натурных опытов на покрытом льдом дорожном полотне, при помощи навесного роторно-фрезерного льдоскалывателя.

Свойства льда учитывались в обоих экспериментах.

Основным измерителем модуля упругости льда был принят ПДУ-МГ4 [92], который был модернизирован для использования применительно ко льду, образуемому на поверхности дорог и тротуаров, для определения реальной силы удара по льду, так как при врезании в лед его бойков или заменяющих их резцов или стержня со сферическим наконечником, происходит хрупкое разрушение сколом. Измеритель модуля упругости ПДУ-МГ4 в данном случае работает без основания-штампа, вместо которого крепятся резцы. Подвижный груз, перемещаемый и сбрасываемый по штанге-направляющей, ударяет по

основанию, передает импульс на датчик и дальше на компьютер, одновременно передавая ударный импульс резцам. Данное явление можно сравнить с ударом об лёд молотка (бойка) рабочего органа ударного действия. Первоначальная методика эксперимента была составлена по аналогии с известными данными [11, с. 93-107; 14, с. 150-169; 33, с. 1-6; 44, с. 177-191].

Измеритель модуля упругости ПДУ-МГ4 (он же устройство для скалывания льда, лаборатория ВКТУ) (рисунок 3.6) состоит из подвижного груза 1, направляющей штанги 2, бойка 3 (или сменных резцов), опорной пластины-наковальни с демпфером 4, центральной плиты (круглого, жесткого диска) 5 динамического нагружения, включающей акселерометр и тензорезисторный датчик силы, а также стопора подвижного груза 6 (рисунок 3.6). Отдельно к устройству прилагается электронный блок с клавиатурой и жидкокристаллическим дисплеем [94, с. 1-12].

Перед началом экспериментов устройство тарируется (рисунок 3.7). При определении плотности льда, зависящей от температуры и возраста ледяного покрытия, используется плита динамического нагружения 5, а при определении силы внедрения в лед, используются резцы (бойки) 3, устанавливаемые вместо диска динамического нагружения 5 (рисунок 3.6).

Крепление к опорной наковальне 4 не только одного, но и двух симметрично установленных резцов скола позволяет компенсировать действие нормальных составляющих сопротивления скола и практически исключить влияние сил трения на направляющей штанге.

Способ определения с помощью данного прибора динамической силы удара основан на вычислении отношения суммарной энергии, затраченной на удар, к глубине скола (рисунок 3.8, 3.9). Энергия к резцам прибора подводится за счёт сброса груза с определённой высоты.

При принятых допущениях о неупругом взаимодействии бойков со льдом при ударе и отсутствии влияния на сопротивление скола работы, выполняемой бойком с резцами и грузом, динамическая сила удара определится из выражения:

$$P_d = \frac{n \cdot E_y}{2 \cdot L_c}, \text{ Н}, \quad (3.13)$$

где E_y – энергия единичного удара, Дж;

n – количество ударов;

L_c – глубина скола, м;

Наличие в делителе коэффициента «2» указывает на наличие двух резцов в конструкции ударника.

Удар груза о боёк-резец можно принять за абсолютно неупругий, так как после него все подвижные части прибора движутся как единое целое с общей скоростью [11, с. 109-116; 15, с. 4-18; 99].

Энергия единичного удара может быть определена из выражения:

$$E_y = \frac{(m_1 + m_2 + m_3) \cdot U^2}{2}, \text{ Дж}, \quad (3.14)$$

где m_1 – масса груза, кг;

m_2 – масса бойка, кг;

m_3 – масса резцов установленных вместо бойка, кг (рисунок 3.6);

U – скорость системы «груз-боёк» или «груз-резец» после удара, м/с.



Рисунок 3.6 – Измеритель модуля упругости ПДУ-МГ4 трансформируемый за счет наконечника в устройство для разрушения льда

Массы определялись путём взвешивания соответствующих частей ударника. Их значения сведены в таблицу 3.2.

Таблица 3.2 - Массы бойков, входящих в комплект для испытаний

Масса груза m_1 , Н	Масса бойка m_2 , Н	Масса комплекта бойков-резцов ширины b , m_3 , Н			
		$b=0,01\text{m}$	$b=0,02\text{m}$	$b=0,03\text{m}$	$b=0,04\text{m}$
26,10	12,60	7,35	6,75	7,20	7,40



Рисунок 3.7 – Тарировка измерителя модуля упругости ПДУ-МГ4

Система тел «груз-боёк» не консервативна и не замкнута. По закону сохранения импульса можем определить скорость данной системы после удара [17, с. 60-65; 44, с. 177-191; 81, с. 15-24]:

$$U = \frac{m_1 \cdot U_1}{m_1 + m_2 + m_3}, \text{ м/с}, \quad (3.15)$$

где U_1 – скорость груза в момент касания льда, определяемая из выражения: $U_1 = \sqrt{2 \cdot g \cdot h_1}$, м/с (где g – ускорение свободного падения, м/с²; h_1 – высота падения груза, м).

Исходя из вышесказанного, энергия, затрачиваемая на разрушение исследуемой среды, для единичного удара определится из выражения:

$$E_y = \frac{681,2 \cdot g \cdot h_1}{38,7 + m_3}, \text{ Дж}. \quad (3.16)$$

Пробные единичные экспериментальные опыты, проведённые на поверхности дорог и тротуаров города с применением вышеуказанного оборудования, показали, что динамическая сила удара практически не зависит от энергии единичного удара и скорости системы тел до и после удара. Таким образом, данный параметр можно считать целиком функцией физико-

механических свойств ледового основания. Для перехода от динамической силы удара к квазистатической, необходимо применение некоторого коэффициента, дополнительно учитывающего нагруженность системы силами инерции.



Рисунок 3.8 – Проведение лабораторных экспериментальных исследований, связанных с прочностными и геометрическими характеристиками льда на остовете плотномера с острым наконечником

Из предыдущих работ выбираем показатель, равный величине 2. Отсюда следует, что сила удара, действующая на единственный резец стандартного ударника-плотномера ПДУ-МГ4 [93, с. 4-6], который взаимодействует с разрабатываемой средой с постоянной и малой скоростью, будет равна:

$$P = \frac{P_d}{2}. \quad (3.17)$$

Наиболее удобное определение динамической и квазистатических сил возникает при условии равенства энергии единичного удара 20 Дж.

При выполнении данного условия предыдущие выражения можно представить в виде:

$$P_d = \frac{10 \cdot n}{L_c}, \text{ Н}; \quad P = \frac{5 \cdot n}{L_c}, \text{ Н.} \quad (3.18)$$

Данное условие может быть выполнено подбором высоты падения подвижного груза, которая определится из условия:

$$h_1 = \frac{(38,7 + m_3) \cdot E_y}{681,2 \cdot g}, \text{ м.} \quad (3.19)$$

Так как в экспериментах с измерителем модуля упругости ПДУ-МГ4 используются 4 комплекта резцов разной ширины и различной массы, то для каждого случая появляется своя расчётная величина высоты падения груза. Результаты расчёта данной высоты сведены в таблицу 3.3.

Таблица 3.3 - Данные для расчета высоты падения подвижного груза

Ширина бойков-резцов в комплекте	b=0,01m	b=0,02m	b=0,03m	b=0,04m
Высота сброса груза	h=1,379m	h=1,377m	h=1,375m	h=1,381m



Рисунок 3.9 – Определение плотности льда при различной температуре

При выполнении вышеназванных условий эталонная сила удара может быть легко найдена при помощи указанных выше выражений или может быть

зафиксирована датчиками встроенными в плотномер и соединенными с компьютером. При установке прибора над подготовленным ледяным образцом необходимо обеспечить равенство глубин скола для каждого из резцов посредством центрирующего диска.

Подъем мерного груза на требуемую высоту сбрасывания выполнялся по стойке плотномера мерной длины, по которой груз поднимался до выставленного на нужную метку стопора и фиксировался им.

Изначально измеритель модуля упругости ПДУ-МГ4 предназначался для измерения плотности грунта, поэтому в случае недостаточной чувствительности датчиков следует произвести их дополнительную настройку и тарировку, поменяв параметры чувствительности в ПО ПК.

При эксперименте подсчитывалось количество ударов от сбрасывания скользящего по стойке груза и расстояние следа скалывания после каждого серийного опыта, что выполнялось снятием показаний со специальной мерной шкалы, смонтированной рядом с направляющей стойкой или нанесенной на нее. Придерживаясь вышеуказанной методике находим квазистатическую и динамическую инерционную силу удара бойка, а также вычисляем ход разрушения СЛО после каждой серии опытов [9, с. 8-31; 45, с. 6-45; 73, с. 8-25; 74, с. 62-72; 99, 9 с.].

Измеряемые величины и места установки датчиков:

а) При экспериментах следует фиксировать величину действующей нагрузки на наковальню с демпфером и динамическую плиту измерителя модуля упругости ПДУ-МГ4.

б) Динамометрический датчик, акселерометр и тензорезисторный датчик, регистрирующий величину силы, приложенной к рабочему органу, входит в комплект измерителя модуля упругости ПДУ-МГ4, который имеет выходы на пульт управления и персональный компьютер.

в) Датчики температуры представляли собой тензометрические датчики типа КФ5Р5, наклеенные на биметаллические пластины, которые деформируются (изгибаются) на определённую величину под воздействием того или иного температурного потока. Названные датчики могут устанавливаться как на поверхности ледового покрова, так и быть замороженными в его толщу.

До того, как начать регистрацию результатов проводимых опытов, необходимо выполнить подготовительные работы:

а) Проверить подвод питания к системе и приборам фиксации показаний;

б) Предусмотреть и сразу подобрать и установить температурные и тензометрические датчики для будущих натурных исследований на роторном снегоочистителе и на рычагах его крепления к базовой машине;

в) Провести контрольную тарировку преобразователей сигналов с датчиков и проверить передачу сигналов на фиксирующий компьютер, силовым путем предварительно нагружая каждый датчик, чтобы видеть отклонение сигнала от покоя, при этом регистрируемые отклики должны

возрастать (отклоняться вверх) с увеличением усилия. Отклонение от этого правила недопустимо, поэтому в случае обратного отклонения сигнала, тарировку приборов и пути отклонения сигнала придется повторить;

г) Провести проверку готовности фото и видеоаппаратуры, зарядить батареи (аккумуляторы).

Экспериментальные исследования проводились как в лабораторном корпусе Восточно-Казахстанского технического университета им. Д. Серикбаева – так и за его пределами, в условиях естественных площадок обледенения, таких как пешеходные тротуары, бетонные отмостки и асфальтобетонные дорожки подъездов к лабораторному комплексу, включая подъездные дороги, покрытые асфальтобетоном и на которых частично были проведены некоторые опыты.

Самым доступным было проведение опытов на собственной лабораторной площадке школы машиностроения ВКТУ и на выделенных предприятиями-партнерами производственных площадках ТОО «ЮА Трансстрой» и ТОО «Өскемен-Тазалық».

Для проведения каждой серии опытов по метеосводкам выбирались дни стабильного соответствия зимним условиям.

Средняя толщина испытываемых СЛО на начало опытов подбиралась в пределах 0,02-0,1 м, с одновременной проверкой плотномером модуля упругости или плотности СЛО, которая для снегонасыщенных СЛО составляла - 0,50...0,55 г/см³, а с ледовыми включениями – 0,75...0,90 г/см³.

Без знаний свойств и поведения льда невозможно провести опыты по его разрушению, а так как каждый день СЛО могло иметь отличающиеся от «вчерашних» параметры, независимо от основных опытов проводились серии исследований параметров разрушаемого ледового основания или вырезанных из него кубических образцов (рисунок 3.10). К контролируемым показателям относились величины адгезии СЛО с дорожным покрытием, температура, прочность, толщина $h_{\text{л}}$, модуль упругости СЛО, измеряемые плотномером ПДУ- МГ4, а также диапазон от начальной до преобразованной под внешним погодным воздействием твердости СЛО.

По журналу экспериментов с декабря по март 2021г. и с декабря по 20 марта 2022 г., записано около 100 замеров параметров процесса разрушения льда инерционными бойками-ударниками, расположенных на сменных секциях и скомплектованных в навесное рабочее оборудование льдоскалывателя. Показатели состояния ледяного покрова из-за их нестабильности измерялись к каждой серии испытаний.

Фиксация показателей дробления и скалывания в среднем осуществлялась в 10 - 20 точках.

Для получения точной массы исходных показателей был составлен график с наиболее рациональным количеством опытов, дающих начальные значения для расчета параметров новых льдоскалывателей, учитывающих сопротивление СЛО разрушению и их прочность.



Рисунок 3.10 – Образцы льда для проведения лабораторных экспериментальных исследований, связанных с прочностными и геометрическими характеристиками льда

Для этого предложено было провести натурные опыты в разные зимние месяцы, и на разном покрытии, включая их различную противогололедную обработку, для того, чтобы в реальных условиях проверить, отличается ли прочность льда в разное течение зимних месяцев. Подобные натурные образцы льда готовились в специальных формах в холодильнике, для проведения лабораторных опытов.

Прочность разрушаемых СЛО оценивалась полученными коэффициентами удельного сопротивления разрушению, которые можно считать силой разрушения при образцовых и неизменных исходных данных опыта для льда, образованного в течение какого-либо периода времени. Полученные результаты будут справедливы только для этого льда, так как взятый в другое время лед будет иметь другие характеристики, как и обработка поверхности противогололедными материалами будет скорее всего другая.

После обработки массива полученных опытных данных было установлено, что в опытной лаборатории, во все дни проведения лабораторных и натурных исследований, соответствовавшим различным месяцам, начиная с декабря 2020г. по март 2021г., с декабря 2021 года и кончая мартом 2022 года, сила разрушения была одинакова для соответствующих условий опыта, показатели не разнились более 10%, а, значит, эта сила не зависит от времени эксперимента в холодное время года. Влияние на нее могут оказать только условия образования СЛО, в течение которых СЛО могли быть образованы от изменения погодных условий или талой водой, поэтому все

серии опытов выполнялись в одну смену, с минимальным колебанием окружающей температуры и свойств СЛО.

В таблице 3.4 даны значения сил (Н) разрушения различных СЛО, при соблюдении исходных опытных данных: диаметр сферического бойка 0,05 м; глубина разрушения 0,01 м; температура самого льда 0°C.

Определение связанности льда (адгезии), а также величины максимальных касательных напряжений, осуществлялось при помощи механического прибора ELCOMETER 106, представленного на рисунке 3.11 [89, с. 32-38; 93, с. 4-10; 98, 9 с.].

На этом же рисунке показан установленный в лабораторном грунтовом канале стенд для определения сцепления льда с дорожным покрытием, выполненный по уже известной методике, на котором можно одновременно проверять прочность льда на срез [90, с. 32-38].



Рисунок 3.11 – Стенд (а) для определения сцепления льда с дорожным покрытием и определение адгезии (б) с помощью механического Адгезиметра

На рисунке 3.12 показано приготовление в холодильной камере, в специальных формах, образцов ледяного покрытия для стенда определения его сцепления. Применение такой установки обусловлено тем, что при натурных опытах на разных участках обледенения, лед оказывался разной прочности из-за того, что в его составе оказались остатки солей, периодически применяемых в качестве антигололедных смесей.

Стенд работал в следующей последовательности. Образец специально замороженного льда фиксировался по меткам на поперечных балках, связанных с опытной лабораторной тележкой грунтового канала, после чего по поверхности опытной площадки выставлялись режущие (скалывающие) ножи. Поперечные балки опытной тележки грунтового канала могут регулироваться по высоте [90, с. 32-38].

Таблица 3.4 - Значения сил разрушения (Н) различных СЛО, с фиксированными исходными параметрами опытов

Вид дорожного покрытия	Характер образования СЛО	Время (дни) проведения эксперимента					
		15-31 декабря 2021	1-15 января 2022	15-31 января 2022	1–15 февраля 2022	15–28 февраля 2022	1-20 марта 2022
Бетон, площадь	Талая вода	55	54	56	57	53	58
	Влага атмосферного воздуха	58	55	58	59	57	57
	Слежавшийся снег	22	21	26	21	24	22
Бетон, тротуар	Талая вода	54	56	57	51	55	58
	Влага атмосферн. воздуха	58	58	57	57	57	58
	Слежавшийся снег	23	22	21	20	21	24
АБП, дорога	Талая вода	57	58	54	55	54	58
	Влага атмосферн. воздуха	56	57	58	57	57	59
	Слежавшийся снег	24	22	22	21	23	26
Литой асфальт, Тротуар	Талая вода	55	55	54	54	58	55
	Влага атмосферн. воздуха	57	57	59	58	58	57
	Слежавшийся снег	23	21	22	24	22	22
Плитка, Тротуар	Талая вода	54	54	51	56	56	59
	Влага атмосферн. воздуха	58	55	59	56	58	57
	Слежавшийся снег	23	21	22	22	23	21



Рисунок 3.12 – Приготовление в холодильной камере образцов ледяного покрытия дорог для стенда определения сцепления льда

Несущая плоскость устанавливается в положение, при котором режущий орган чуть касается торца льда. Нагрузка постепенно прикладывается к тросу, перекинутому через отдельно смонтированный блок. Фиксируется момент скалывания. Предполагалось, что срезание льда может происходить при работе роторного органа с несферическими бойками, например, кубическими.

Были выбраны участки дорог, ранее обработанных этими солями, и по ним определялась соответствующая прочность.

В таблице 3.5 представлены результаты испытаний образцов льда на стенде проверки прочности сцепления льда и проверки прочности на срез (скалывание).

Таблица 3.5 - Показатели прочности испытываемого льда на срез и его адгезии

№ пп	Количество и характеристика соли, % от массы мин. части	Вид соли, NaCl, (NaCl ₂), % от массы соли	Прочность сцепления льда с поверхностью, МПа	
			Сухих образцов	После 90 суток водонасыщения
1	0	—	0,360	0,380
2	1	100 (0)	0,280	0,320
3	3	100 (0)	0,195	0,270
4	5	100 (0)	0,145	0,200
5	5	100 (0)	0,150	0,230
6	7	100 (0)	0,115	0,190
7	9	100 (0)	0,115	0,180
8	5	87,5 (12,5)	0,120	0,170
9	5	75 (25)	0,105	0,150
10	5	50 (50)	0,090	0,125
11	5	25 (75)	0,080	0,115
12	5	0 (100)	0,070	0,100

В таблице 3.6 даны данные сопротивления разрушению СЛЮ на различных дорожных поверхностях, обработанных противогололедными материалами при фиксированных исходных данных: температура самого СЛЮ – 0⁰С; высота СЛЮ – 0,05 м; концентрация химических соединений и минеральных добавок (песка) на несущей плоскости равна 0.

Опыты проводились на образцах льда с различными добавками применяемых на дорогах солей и при различных температурах замороженного слоя. На стенде также изменялся угол резания (скалывания) [90, с. 32-38].

Прочность сцепления льда, МПа, определяется по следующей формуле:

$$A = \frac{0,1 P}{S_{\text{л}}} \quad (3.20)$$

где P – нагрузка, при которой произошло скалывание, кГс;

S_л – площадь скалывания льда, см²,

$$S_{\text{л}} = l \cdot h_{\text{л.ср}} \quad (3.21)$$

где l – длина скола льда, см;

$h_{\text{л.ср}}$ – средняя высота сколотого льда, см.

Модель максимально приближена к реальному объекту, поэтому все показатели могут служить исходными данными для расчета других перспективных устройств механически дробящего лед действия [50, с. 32-42].

Таблица 3.6 - Значение опытных сил сопротивления разрушению СЛО (МПа),

Вид дорожно-го покрытия	Характер образования СЛО	Время (дни) проведения эксперимента					
		15-31 декабря 2021	1-15 января 2022	15-31 января 2022	1-15 февраля 2022	15-28 февраля 2022	1-20 марта 2022
Бетон, площадь	Талая вода	1,23	1,19	1,17	1,28	1,27	1,26
	Из атмосферного воздуха	1,23	1,24	1,25	1,23	1,28	1,27
	Слежавшийся снег	0,022	0,022	0,017	0,022	0,023	0,020
Бетон, тротуар	Талая вода	1,20	1,18	1,17	1,16	1,23	1,25
	Влага атмосферного воздуха	1,23	1,21	1,18	1,21	1,21	1,22
	Слежавшийся снег	0,018	0,015	0,023	0,020	0,024	0,021
АБП, дорога	Талая вода	1,47	1,39	1,38	1,44	1,46	1,47
	Влага атмосферного воздуха	1,44	1,43	1,45	1,46	1,46	1,43
	Слежавшийся снег	0,024	0,016	0,016	0,023	0,018	0,014
Литой асфальт, Тротуар	Талая вода	1,24	1,28	1,19	1,21	1,21	1,26
	Влага атмосферного воздуха	1,23	1,24	1,23	1,23	1,21	1,26
	Слежавшийся снег	0,019	0,019	0,020	0,021	0,022	0,016
Плитка, тротуар	Талая вода	1,21	1,18	1,14	1,18	1,23	1,24
	Влага воздуха атмосферная	1,25	1,18	1,17	1,24	1,26	1,25
	Слежавшийся снег	0,013	0,021	0,021	0,018	0,018	0,022

3.3.1 Экспериментальные лабораторные исследования разрушения льда на дорожном покрытии

Эксперименты по изучению процесса дробления ледового налета на несущем покрытии автомобильных дорог при воздействии удара, результаты которых приведены далее, являются начальным шагом для установления взаимосвязи параметров проходящего процесса, выявления закономерностей разрушения ледяного покрытия от воздействия удара, нахождение

предполагаемых закономерностей перенаправления энергии и последующего перехода к получению эмпирико-теоретической зависимости для определения параметров рабочего органа динамического действия, учитывающего данные опытного льда, например, для нахождения массы инерционных сферических бойков, а также частоты вращения вала привода рабочей конструкции, обеспечивающих разбивание на дороге ледяного налета заданной толщины.

Для нахождения эмпирических данных о рабочем процессе разбивания ледяного налета на исследуемом покрытии путем внедрения в него сферического бойка-ударника был проведен ряд опытов (рисунок 3.13, 3.14).



Рисунок 3.13 – Подготовка компонентов и оборудования экспериментов: ледяные кубы-образцы, металлические шары разной массы и мерная линейка

Лабораторный эксперимент №1. Задачи и цели эксперимента:

- Поэтапное нахождение высоты (пути) свободного падения стального шара (сферы) массой 0,5 кг, диаметром 50 мм, необходимой для разбивания СЛЮ (льда) при однократном падении шара с этой высоты;
- определение требуемой для разбивания ледяного покрытия скорости шарового ударника в случае однократного падения;
- нахождение оптимальной частоты вращения вала привода рабочего органа с радиусом расположения от его оси сферического ударника (принят $R=400$ мм), соответствующей линейной скорости этого ударника при свободном падении в момент его соударения с поверхностью льда.

– Ход эксперимента. Был выбран ограниченный бетонный участок, равномерно покрытый льдом. Параллельно были подобраны несколько ледяных кубов одинакового размера со льдом естественного происхождения, используемые в качестве опытного материала для сбрасывания на них металлических шаров различного диаметра и массы, с целью определения степени разрушения от падения на них шаров с различной высоты.

Поочередно, начиная с высоты 100 мм, сбрасывался шаровой ударник, начиная с высоты 100 мм, с повышением шага в 50 мм, до начала эффективного разбивания СЛО (льда).

Уровень эффективности разбивания СЛО (ледового покрытия) определялась визуально.

Найденные и замеренные показатели:

- температура воздуха: (минус) -2°C ;
- толщина (высота) СЛО равна 50 мм ($h_{\text{л}}=50$);
- рациональной высотой полета шарового ударника ($h_{\text{ш}}$), с которой начинается гарантированное разбивание СЛО, принята равной 1200 мм.

Найдем в числовом виде, используя известные зависимости, скорость полета ударной сферы, достаточной для разбивания СЛО при выбранной выше высоте начала ее полета (1,2 м) [72, с. 99-105]:

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h_{\text{ш}}} \text{ , м/с,} \quad (3.22)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с^2 .

$$v = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 1,2} = 4,85 \text{ м/с.}$$

Определение эквивалентной высоты падения шара частоты вращения рабочего органа при радиусе расположения ударника $R=400$ мм

$$v = \omega \cdot R = \frac{\pi \cdot n}{30} \cdot R \text{ , м/с;} \quad \text{откуда} \quad n = \frac{30 \cdot v}{\pi \cdot R} \text{ , об/мин;} \quad (3.23)$$

$$n = \frac{30 \cdot 4,85}{3,14 \cdot 0,4} = 115 \text{ об/мин.}$$

Основные результаты эксперимента №1: полное разрушение ледяного покрытия толщиной до $h_{\text{л}}=50$ мм при температуре окружающего воздуха $t^{\circ}_{\text{в}} = -2^{\circ}\text{C}$ происходит при сбрасывании шаровой массы в 0,5 кг и диаметром около 50 мм, с возвышенности $h_{\text{ш}} \geq 1200$ мм, при падении с которой ледовое покрытие разрушается без соприкосновения шара с поверхностью бетона.

Эксперимент №2. Задачи и цели проведения эксперимента:

- нахождение минимальной высоты простого сбрасывания стальной

сферы диаметром 50 мм и массой в 0,5 кг и, при которой ледяное покрытие обязательно разрушится при двукратном падении с нее сферы;

- нахождение требуемой для разбивания льда скорости падения сферы при двукратном падении;

- определение частоты вращения вала привода исследуемого рабочего механизма с радиусом (R) вращения инерционной массы, равной 400 мм, соответствующей линейной скорости шара.

Ход эксперимента. Был выбран ограниченный участок, залитый бетоном, равномерно покрытый свежим ледяным слоем.

Глубиномером штангенциркуля замерена толщина льда. Температура окружающего воздуха во время всех опытов определялась при помощи термодетектора Bosch PTD 1 и простого спиртового термометра.

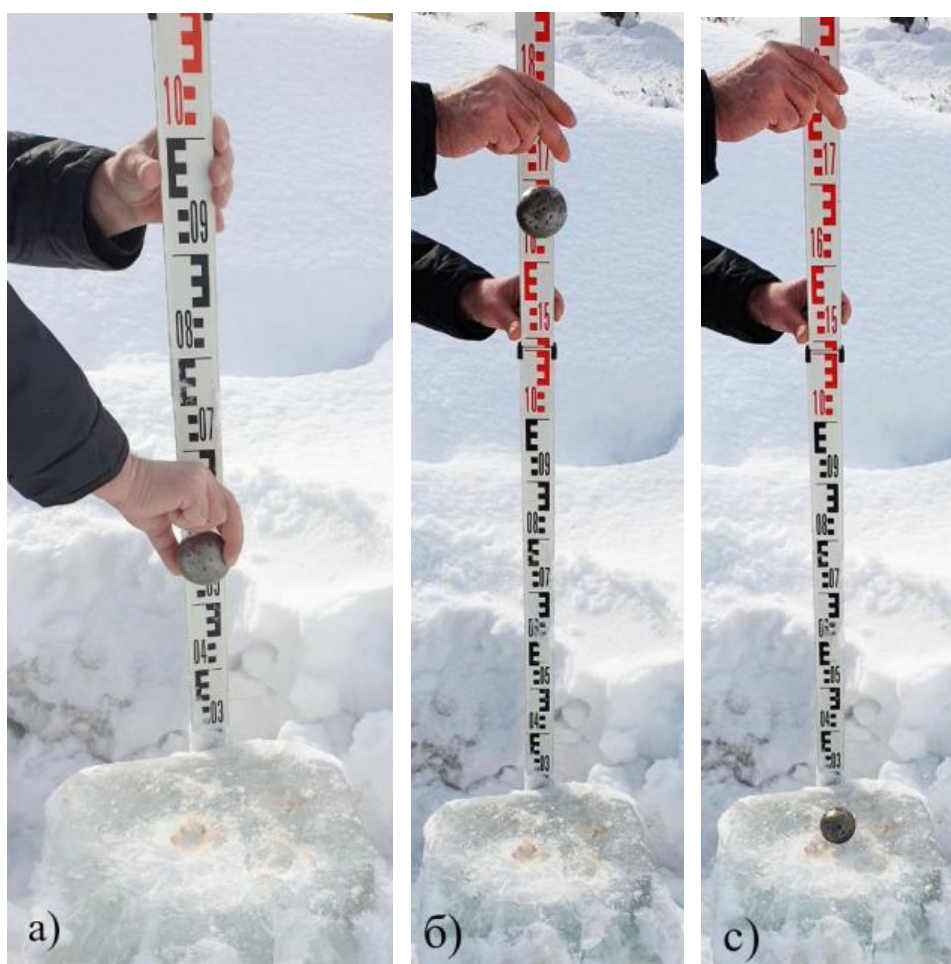


Рисунок 3.14 – Эксперименты по сбрасыванию шара разной массы и диаметра (на фото шар массой 0,5 кг, диаметром 50 мм) с различной высоты

С ледяных кубов равномерно срезался образец высотой 50 мм и устанавливался опять на куб. Ледяной образец был одинаков для всех опытов.

Был проведен ряд экспериментов на возможность разбивания ледяного куба на его полную высоту, без срезания стандартного образца (рисунок 3.14).

Последовательное двукратное сбрасывание шара с размеченной высоты

с попаданием в одну область ледяной площадки с небольшим рассевом (10...20 мм) пятен падения, начиная с подъема на 100 мм, с шагом 50 мм, заканчивая подъемом на 750 мм.

Глубина лунки во льду и степень разбивания СЛО (льда) определялась осмотром и замером с помощью линейки (рисунок 3.15).

Найденные и замеренные показатели:

- Окружающая температура $t^{\circ}_в = -2^{\circ}\text{C}$;
- Высота (толщина) разбиваемого СЛО $h_{л} = 50$ мм;
- Наиболее рациональная высота двукратного падающего полета ударной сферы ($h_{ш}$), с которой она гарантированно разобьет СЛО, находится в пределах от 700 до 750 мм.

- Применив известную зависимость (3.22), для наименьшей точки сбрасывания (0,7м) найдем численную скорость полета сферического ударника, при которой произойдет гарантированное разбивание СЛО:

$$v = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,7} = 3,7 \text{ м/с.}$$

Находим соответствующую высоте начала падения сферического ударника частоту вращения приводного вала (3.23) с радиусом разлета от него вращающихся сферических ударников $R = 400$ мм [72, с. 99-105]:

$$n = \frac{30 \cdot 3,84}{3,14 \cdot 0,4} = 88,3 \text{ об/мин.}$$

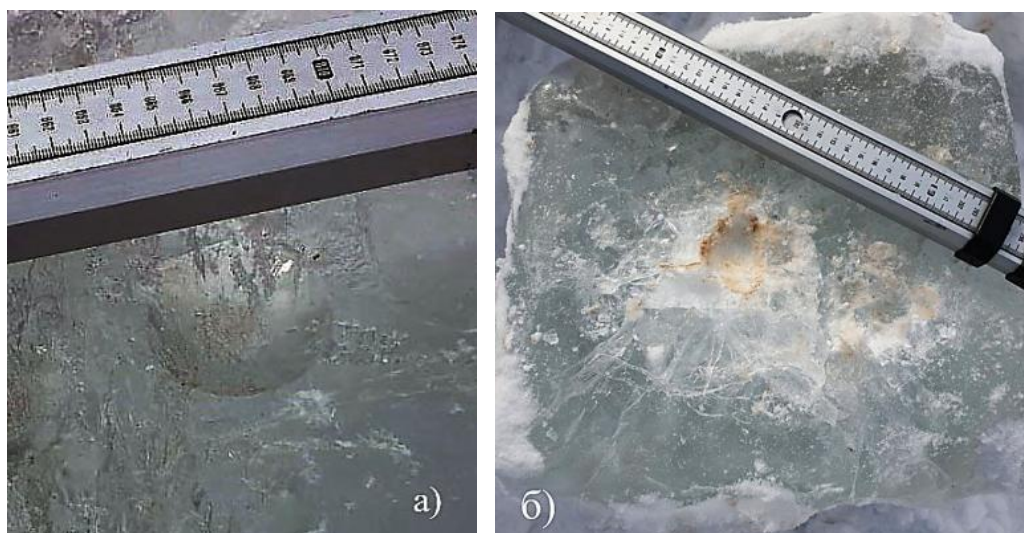


Рисунок 3.15 – Измерение размера лунки и участка разрушения льда после однократного сбрасывания шара диаметром 50 мм и массой в 0,5 кг с разной заданной экспериментом высоты

Основные результаты эксперимента №2: при двукратном падении сплошного стального шара массой 0,5 кг и диаметром 50 мм, примерно в одну и ту же область с разбросом 20-30 мм, полное разбивание ледяного покрытия

толщиной 50 мм, при температуре окружающего воздуха (минус) -2°C , происходит при высоте падения $h_{\text{шт}}=750$ мм, при этом лёд разрушается без (до) соприкосновения шара с бетонной поверхностью. Сравнение результатов экспериментальных опытов №1 и №2 позволяет сформировать вывод о том, что двухразовое попадание ударника в одну и ту же ограниченную область позволит рабочему органу сократить в 1,3 раза достаточную скорость удара натурального бойка.

Эксперимент (опыт) №3. Задачи и цели проведения эксперимента:

- Нахождение высоты рационального, простого, свободного падения и количества раз сбрасываний стальной сферы диаметром около 50 мм и весом 0,5 кг и при которых ледяное покрытие различной толщины обязательно разрушится в случае неоднократного сбрасывания сферы;
- Определение скорости шарового ударника, необходимой для разбивания ледового покрытия в случае трехразового падения сферы;
- Нахождение частот опытного вращения вала привода исследуемого рабочего механизма с радиусом ($R=400$ мм) вращения инерционных бойков соответствующих линейной скорости шарового ударника.

Ход опыта (эксперимента). Был подобран ограниченный бетонный угол, равномерно залитый свежим слоем ледяного покрытия. На нем были заморожены участки с различной толщиной ледяного покрытия.

Последовательно, по три раза, с определенной высоты сбрасывался шар в одну область-мишень, с небольшим (20...30 мм) расхождением точек падения на ледяное покрытие, начиная с минимальной высоты 400 мм до высоты 1000 мм с шагом 100 мм, а с высоты 1000 мм до высоты 2000 мм - с шагом 200 мм. Визуально определяли степень разрушения льда.

Измеренные и определённые параметры:

- температура воздуха $t^{\circ}_{\text{в}}=-5^{\circ}\text{C}$;
- различные толщины ($h_{\text{л}}=15; 20; 30, 50$) ледяного покрытия, мм;
- наиболее оптимальные вертикальные отметки $h_{\text{шт}}$ многократного сбрасывания шарового бойка-ударника и кратность сбрасываний для каждой высотной отметки для разных толщин ледяного покрытия, при которых происходит эффективное дробление льда, представлены в таблице 3.7.

Основные результаты эксперимента №3: полное разбивание ледяного покрытия толщиной до 50 мм при температуре окружающего воздуха (минус) -5°C происходит при падении шарового ударника массой 0,5 кг и диаметром 50 мм в один полигон попадания, с разбросом 20-30 мм, начиная с высоты около 1000 мм, и большим количеством ударов.

С увеличением толщин ледяного покрытия количество и высоту сбрасываний практически определить не удастся. Причина кроется в неправильном подборе величин массы и радиуса сбрасываемого сферического (шарообразного) ударника, дробящего ледяное покрытие проверочной толщины [72, с. 99-105; 100, с. 182-188].

Эксперимент (опыт) №4. Путем проведения экспериментов по

разбиванию ледового покрытия было определено влияние величины диаметра сферической части бойка-ударника при его поочередном сбрасывании с изменением массы с 16 до 32 кг и диаметром рабочей части сферического участка ударника 200 мм в одну точку ледового участка, одновременно было экспериментально проверено, что шарами-ударниками такого диаметра можно разрушить лёд толщиной до 50...75 мм, преимущественно, за счет значительной массы ударника, а при дальнейшем повышении толщины льда происходит не его разрушение, а смятие, с образованием ледяной массы, напоминающей наклёп, который не удаляется ударником.

Основные результаты эксперимента №4: С увеличением диаметра сферической рабочей части поверхности шара-ударника эффективность разрушения ледового покрытия уменьшается, т.е. разрушение льда сплошными ударниками увеличенной массы, имеющими вдобавок увеличенный диаметр сферической части его рабочей поверхности, практически неэффективно, вследствие большого энергопотребления на привод ударника большой массы, и, при этом, низкой эффективности разрушения льда.

Также во время экспериментов было установлено, что при ударе шара о поверхность льда часть льда плавится и на участке его соприкосновения с шаром образуется вода, что косвенно свидетельствует о значительных тепловых потерях при преобразовании энергии в момент удара.

Таблица 3.7 – Количество сбрасываний шара в зависимости от высоты сбрасывания $h_{ш}$ и толщины льда $h_{л}$

$h_{ш}$, мм	$h_{л}$, мм			
	15	20	30	50
400	не определено	не определено	не определено	не определено
500 - 900	не определено	не определено	не определено	не определено
1000	46	не определено	не определено	не определено
1200	36	не определено	не определено	не определено
1400	27	не определено	не определено	не определено
1600	19	не определено	не определено	не определено
1800	16	не определено	не определено	не определено
2000	11	36	не определено	не определено

Предварительные экспериментальные исследования по изучению процесса разрушения льда на твердом покрытии воздействием сферического ударника, позволили установить первоначальные взаимосвязи между параметрами процесса разрушения льда под действием удара, выявить закономерности процесса, определить закономерности перераспределения энергии, выявить влияние основных параметров ударника сферической формы на протекание процесса разрушения льда.

Опираясь на проведенные ранее экспериментальные исследования по изучению процесса разрушения льда на твердом покрытии воздействием

сферического бойка, для эмпирической корректировки теоретических зависимостей (3.9), (3.10) были проведены обобщающие эксперименты по разрушению льда сферическими бойками с разной массой m и радиусом рабочей поверхности R и определение скорости v удара, необходимой для разрушения льда определенной толщины при однократном воздействии [55, с. 1-5].

Сначала, по вышеуказанной методике, была определена эффективная высота H , при сбрасывании с которой бойка - стальной сферы радиусом $R=0,025$ м и массой $m=0,5$ кг, происходит эффективное разрушение нижележащего на основании льда однократным воздействием (рисунок 3.16), затем определяли соответствующую найденной высоте падения скорость v бойка в момент его соударения с поверхностью льда.

В результате было установлено, что эффективное (т.е. однократным воздействием) разрушение льда толщиной $h=20...50$ мм происходит при сбрасывании сферического бойка массой $m=0,5$ кг и радиусом $R=0,025$ м с высоты $H=1,2$ м.

Скорость сферического бойка в момент его соударения со льдом:

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot H} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 1,2} = 4,85 \text{ м/с}, \quad (3.24)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с^2 ; $g=9,81 \text{ м/с}^2$.



Рисунок 3.16 – Результат разрушения льда сферическим бойком диаметром 50 мм и массой 0,5 кг

Высота сбрасывания бойка $H=1,2$ м была принята в качестве базового значения для проведения последующих экспериментов, чтобы обеспечить во всех случаях одну и ту же скорость соударения со льдом.

В следующей серии экспериментов исследовалось разрушение льда за один удар при воздействии на него стальных сферических бойков радиусом $R=0,05$ м и массой $m=4$ кг, радиусом $R=0,08$ м и массой $m=16$ кг, радиусом $R=0,1$ м и массой $m=32$ кг путем сбрасывания бойков на лед с высоты $H=1,2$ м, то есть со скоростью соударения бойка со льдом $v=4,85$ м/с (рисунок 3.17, а, б, в, г).

В результате экспериментов было установлено, что сферическими

бойками при скорости их соударения со льдом $v=4,85$ м/с достаточно эффективно можно разрушить лёд следующей толщины:

- при массе бойка $m=4$ кг и радиусе $R=0,05$ м - до 10мм включительно;
- при массе бойка $m=16$ кг и радиусе $R=0,08$ м - до 25мм включительно;
- при массе бойка $m=32$ кг и радиусе $R=0,1$ м - до 50мм включительно.

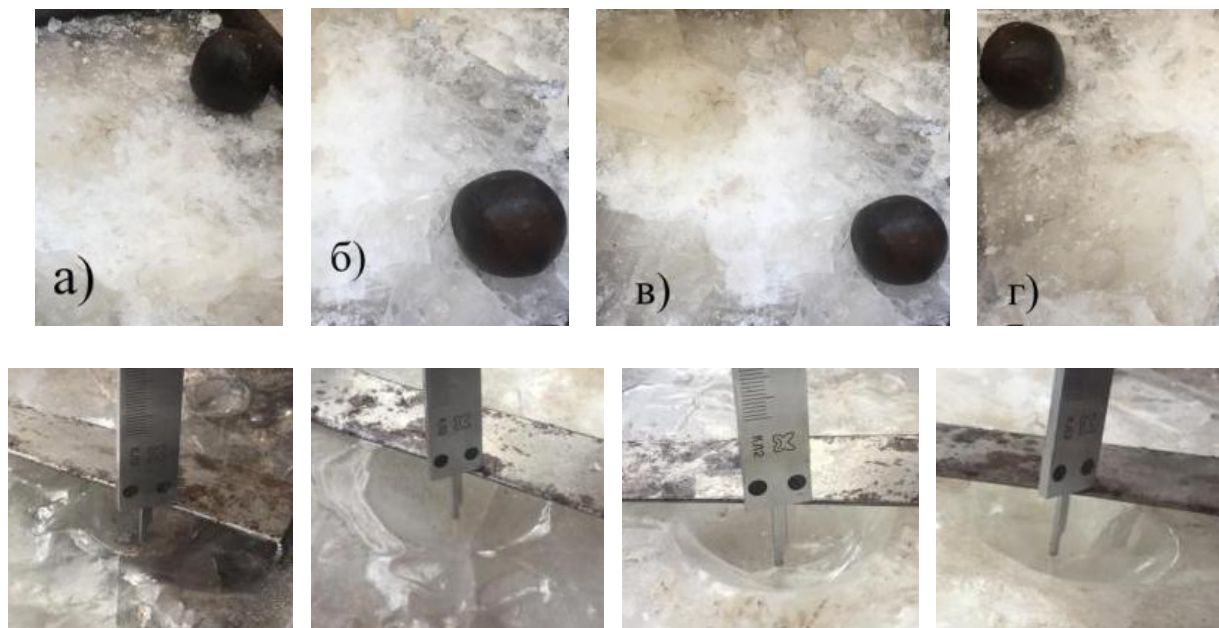


Рисунок 3.17 – Разрушение льда сферическими бойками различной массы и радиуса и измерение глубины проникновения бойка в лед

3.3.2 Теоретико-эмпирическая модель зависимости разрушения ледового покрытия от параметров сферических бойков-ударников

Полученные предварительные результаты экспериментов, дополненные новыми исследованиями, позволяют далее перейти к нахождению математической теоретико-эмпирической связи между параметрами рабочего оборудования со сферическими бойками-ударниками для разбивания льда с определенными характеристиками, например, для определения общей массы бойка-ударника или частоты вращения вала привода рабочего оборудования (скорости бойка), достаточных для разбивания ледового налета определенной толщины на дорогах, или, иными словами, для получения возможности проведения на стадии проектирования РО инженерных расчетов.

Из разбора формулы (3.12) можно сделать вывод, что влиять на процесс разрушения льда можно, изменяя массу m ударника, скорость v удара, радиус R расположения ударника относительно оси вращения РО или радиус r сферической рабочей поверхности ударника. Из этих способов регулирования наиболее простым и удобным является изменение скорости v удара, которое можно осуществлять либо за счет изменения рабочего разлета R сферы-ударника, либо изменением его оборотов вращения n .

Примем разлет ударно-отскакивающих сфер постоянным и сопоставим скорость v падения и массу сферического ударника m , гарантирующих

дробление льда опытной толщины, с соответствующими им оборотами приводного вала n с единичной рабочей секцией с фиксированным радиусом сферического ударника [72, с. 99-105; 100, с. 182-188].

Затем, на основании полученных экспериментальных данных проведем эмпирическую корректировку теоретической формулы (3.12), так, чтобы действительные результаты расчета по скорректированной формуле позволяли использовать ее при проектировании новых ударных РО.

Пакет ранее выполненных начальных экспериментов позволил для льдоскалывателя с радиусом вылета сферического ударника относительно его вала привода ($R=400$ мм) определить его достаточную частоту вращения, которая с большой вероятностью соотносилась бы с линейной скоростью свободно падающего единичного сферического ударника с некоей высоты, обеспечивающей разбивание СЛЮ при однократном сбрасывании сплошного сферического ударника массой 0,5 кг и диаметром 50 мм.

Эксперимент выполняли при окружающей температуре $t^{\circ}_в=-2^{\circ}\text{C}$, на равномерно, высотой $h=4$ мм, покрытой льдом ограниченной бетонной площадке. Сфера-ударник, с шагом 50 мм, сбрасывался поочередно, начиная с высоты 100 мм, в разную точку площадки, до эффективного разбивания льда за однократный удар.

Уровень эффективности разбивания СЛЮ (льда) определялся простым осмотром, т.к. критериев измерения и оценки этого показателя не существует.

В результате экспериментов было установлено, что эффективная высота сбрасывания шара, при которой происходит эффективное разрушение льда, $H=1200$ мм. Относительно этой высоты сбрасываемого с нее шара, по формуле (3.22) была определена скорость полета сферы-ударника в момент соударения со льдом с его гарантированным разрушением ($v=4,85$ м/с).

Сопоставляемые в противовес высоте полета сферы-ударника обороты приводного вала при рабочем разлете (R) от его оси ударника на 400 мм, находились по (3.23) и имеют параметр $n=115$ об/мин [100, с. 182-188].

Основные результаты эксперимента: полное разбивание ледяного покрытия толщиной до 50 мм при температуре окружающего воздуха (минус) -2°C происходит при падении шарового ударника массой 0,5 кг и соответствующим ей диаметром 50 мм, с высоты не менее 1200 мм, причем, при фиксированной высоте падения шарового ударника 1200 мм лед разбивается без повреждения ударником поверхности бетонной площадки.

Варьирование опытной толщины ледяного покрытия h до значений 50...75 мм и более при той же массе ударника $m=0,5$ кг приведет к необходимости увеличения скорости соударения, а точнее, высоты сбрасывания ударника до весьма больших значений (предварительно – 3...5 м и более), реализовать на практике которые будет весьма затруднительно. Поэтому для проведения дальнейших экспериментов по исследованию процесса разрушения льда большей толщины целесообразно увеличить массу ударника и (или) уменьшить радиус его сферической рабочей поверхности.

Во второй серии экспериментов в качестве ударника был принят

стальной цилиндр массой $m=5,5$ кг с обработанным до получения полусферической формы одним из торцов, который и принят за рабочую поверхность диаметром $d=18$ мм. Определяли оптимальную частоту вращения вала привода РО с радиусом расположения ударника относительно оси вращения его вала привода, сопоставимую с линейной скоростью шарового ударника – цилиндра, соответствующей свободному падению в течение времени соударения со СЛО (льда), аналогично нахождению высоты экспериментального пути полета ударника, достаточной для разбивания льда при однократном свободном падении ударной сферы (рисунок 3.18).

Эксперименту соответствовала окружающая минусовая температура -5°C в пределах бетонной площадки с замороженными гладкими участками с различными высотами покрывающих их СЛО $h=15; 20; 30; 40; 65$ мм.

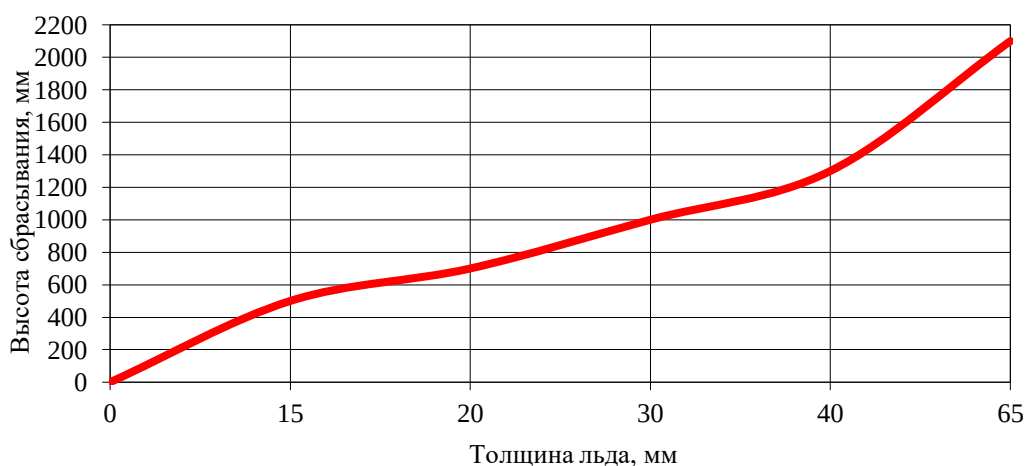


Рисунок 3.18 – Зависимость высоты сбрасывания цилиндра массой 5,5 кг от толщины льда при количестве ударов для разрушения не более одного

На каждом участке поверхности с подобранной для опыта различной толщиной СЛО (льда) боек – цилиндр с шаровым наконечником, сбрасывался с разных высот, начиная с высоты 100 мм, с шагом 100 мм. Сбрасывание ударника при каждом значении высоты сбрасывания H осуществлялось в новую точку площадки (с небольшим расхождением точек падения, 10...20 мм) до тех пор, пока не произойдет разрушение льда. Максимальное количество сбрасываний - ударов до разрушения льда принималось не более 30-ти, в противном случае количество ударов считалось не определенным. На каждом участке поверхности с определенной толщиной льда эксперимент прекращался по достижении такой высоты H , при сбрасывании с которой происходит эффективное разрушение льда за один удар. Степень эффективности разрушения льда определялась визуально, т.к. критериев измерения и оценки этого показателя не существует.

Количество сбрасываний ударника при каждой высоте H сбрасывания для разной толщины льда, при которых происходит эффективное разрушение льда, представлено в таблице 3.8, а графическая интерпретация этой зависимости – на рисунке 3.18. Результаты определения необходимой для

разрушения льда скорости v (м/с) ударника - цилиндра в зависимости от высоты сбрасывания H по формуле (3.22), а также определения частоты вращения n (об/мин) рабочего органа с радиусом расположения ударника относительно оси вращения $R=400$ мм по формуле (3.23) представлены в таблице 3.9, а их графическое отображение – на рисунках 3.19 и 3.20.

На основании результатов проведенных экспериментов получим эмпирико-теоретическую зависимость между параметрами сферического РО ударного действия для разрушения льда, с учетом характеристик льда.

Для этого с помощью программы Microsoft Excel путем подбора эмпирически уточняем теоретическую формулу (3.12) следующим образом. Производим теоретический расчет по формуле (3.12) для толщин льда $h=15, 20, 30, 40, 65$ мм при радиусе сферической рабочей поверхности ударника $r=9$ мм, для каждой толщины льда задавая соответствующую, согласно результатам экспериментов, эффективную частоту вращения рабочего органа.

Таблица 3.8 – Количество сбрасываний цилиндра в зависимости от высоты сбрасывания $h_{ц}$ и толщины льда h

	h , мм				
$h_{ц}$, мм	15	20	30	40	65
100	20	не выявлено	не выявлено	не выявлено	не выявлено
200	10	24	не выявлено	не выявлено	не выявлено
300	5	16	не выявлено	не выявлено	не выявлено
400	2	8	не выявлено	не выявлено	не выявлено
500	1	3	22	не выявлено	не выявлено
600	1	2	12	не выявлено	не выявлено
700	1	1	8	28	не выявлено
800	1	1	4	17	не выявлено
900	1	1	2	10	не выявлено
1000	1	1	1	7	не выявлено
1100	1	1	1	3	не выявлено
1200	1	1	1	2	не выявлено
1300	1	1	1	1	не выявлено
1400	1	1	1	1	не выявлено
1500	1	1	1	1	25
1600	1	1	1	1	18
1700	1	1	1	1	12
1800	1	1	1	1	7
1900	1	1	1	1	4
2000	1	1	1	1	2
2100	1	1	1	1	1

Выявляем отклонение результатов теоретического расчета от действительных (экспериментальных) значений и находим эмпирический

корректирующий коэффициент, который подставляем в формулу (3.12).

В результате эмпирическая корректировка теоретической формулы (3.12) будет иметь следующий вид:

$$m = \left(\frac{4 \cdot \sigma_{сж}^3 \cdot r \cdot h^2 \cdot 900}{E^2 \cdot \pi \cdot n^2 \cdot R^2} \right)^2 \cdot \frac{1,3 \cdot 10^8}{h^2}, \text{ кг},$$

где $\frac{1,3 \cdot 10^8}{h^2}$ - эмпирический корректирующий коэффициент.

После преобразований получаем уточненную эмпирико-теоретическую формулу:

$$m = \frac{1,6848 \cdot 10^{15} \cdot \sigma_{сж}^6 \cdot r^2 \cdot h^2}{E^4 \cdot \pi^2 \cdot n^4 \cdot R^4}, \text{ кг}. \quad (3.25)$$

где $\sigma_{сж}$ – граничное значение напряжения сжимаемости льда, Па;
 r – высота рабочей полусферы ударника, м;
 h – толщина (высота) дорожных СЛЮ, м;
 E – сопротивляемость льда разбивающим нагрузкам, Па;
 n – частота рабочего оборота сферы-ударника приводным валом, об/мин;
 R – рабочая половина полного разностороннего разлета (м) центров шаровых ударников относительно оси вращающего их вала.

Формула (3.25) позволяет подобрать точную величину ударной энергии гарантированного разрушения льда заданной прочности и толщины, но не разрушающей дорожное полотно под ним, за счет отсутствия избыточной энергии [100, с. 182-188].

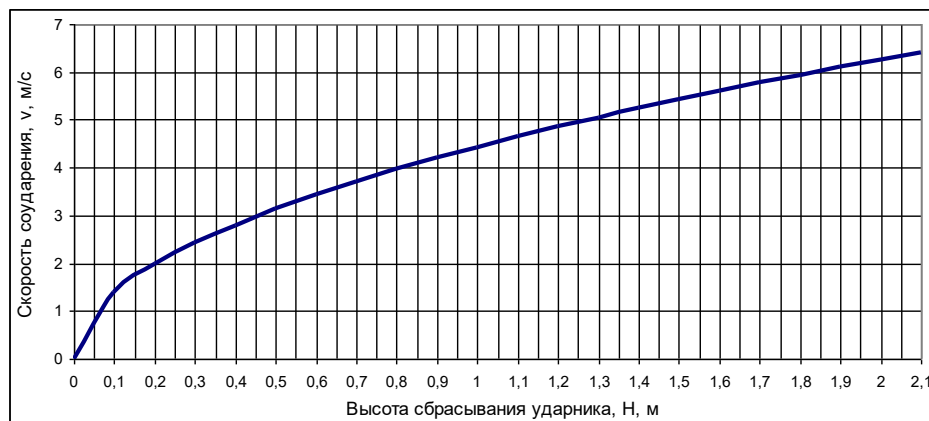


Рисунок 3.19 – Зависимость скорости полета сферы-ударника в точке ее соударения с СЛЮ от высоты сбрасывания

Найденная опытно-теоретическая формула (3.25) упорядочивает сопоставление параметров гарантированно дробящей лед единичной РС ударного действия с рабочей поверхностью в виде полусферы-ударника

(массой m сферы-ударника, его рабочим вылетом (R) от приводной оси, высотой h рабочей полусферы, оборотами n приводного вала) и параметрами СЛО (толщины h СЛО, сопротивляемостью льда разбивающим нагрузкам E , граничными значениями напряжения сжимаемости льда $\sigma_{сж}$), что позволяет проводить инженерные расчеты и находить еще на стадии конструирования рациональные параметры единичной РС ударного действия.

По полученной формуле (3.25) проведем расчет массы ударника для тех же значений толщины слоя льда, что и в описанных выше экспериментах, с учетом температуры воздуха и для тех значений эквивалентной частоты вращения РО, при которых происходило разрушение льда при однократном ударном воздействии на него, т.е. при падении ударника с соответствующей высоты сбрасывания. Результаты расчетов приведены в таблице 3.10. В скобках даны значения частоты вращения РО, при которых расчетная масса ударника точно соответствует экспериментальной.

Как видно из таблицы 3.10, во всех случаях получен очень близкий к экспериментальному результат (максимальная погрешность – 14,6%).

Точность результатов могла быть повышена в случае с $h=20$ мм, если бы шаг изменения высоты сбрасывания ударника был не 100, а 50 мм, но это сделало бы эксперимент значительно более трудоемким.

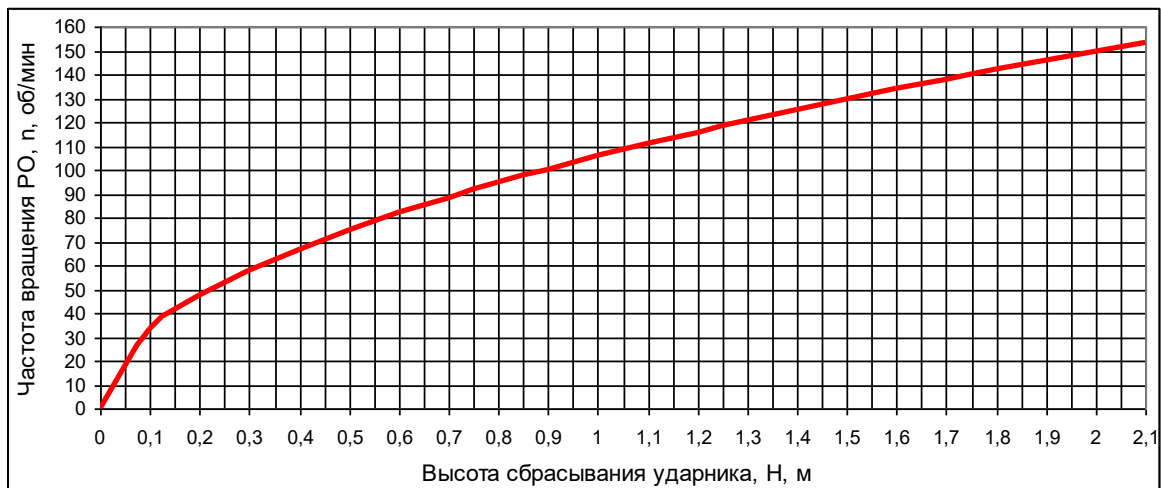


Рисунок 3.20 – Зависимость частоты вращения РО с расположения ударника относительно оси вращения $R=400$ мм от высоты сбрасывания

Путем простого преобразования формулы (3.25) получим формулу для определения радиуса R (м) вылета центра бойка-ударника от оси вращения вала привода рабочего оборудования (m – масса бойка, кг):

$$R = \sqrt[4]{\frac{1,6848 \cdot 10^{15} \cdot \sigma_{сж}^6 \cdot r^2 \cdot h^2}{E^4 \cdot \pi^2 \cdot n^4 \cdot m}}, \quad (3.26)$$

и для определения частоты n вращения вала привода рабочего оборудования:

$$n = \sqrt[4]{\frac{1,6848 \cdot 10^{15} \cdot \sigma_{сж}^6 \cdot r^2 \cdot h^2}{E^4 \cdot \pi^2 \cdot m \cdot R^4}}, \text{ об/мин} \quad (3.27)$$

Таблица 3.9 – Скорости удара и соответствующая высоте сбрасывания частота вращения вала привода с радиусом R расположения ударника 400 мм

Высота падения сферы, Н, м (мм)	Скорость (м/с) соударения, V	Соответствующая частота вращения вала привода n, об/мин
0,1 (100)	1,400714103	33,4565472
0,2 (200)	1,980908883	47,3147025
0,3 (300)	2,426107995	57,9484393
0,4 (400)	2,801428208	66,9130940
0,5 (500)	3,132091954	74,8111134
0,6 (600)	3,431034828	81,9514688
0,7 (700)	3,705941177	88,5177033
0,8 (800)	3,961817766	94,6294053
0,9 (900)	4,202142312	100,369640
1 (1000)	4,429446919	105,798890
1,1 (1100)	4,64564313	110,962812
1,2 (1200)	4,852215988	115,896878
1,3 (1300)	5,050346524	120,629295
1,4 (1400)	5,240992273	125,182937
1,5 (1500)	5,424942395	129,57666
1,6 (1600)	5,602856415	133,826187
1,7 (1700)	5,7752923	137,944878
1,8 (1800)	5,942726648	141,944107
1,9 (1900)	6,105571227	145,833707
2 (2000)	6,264183906	149,622226
2,1 (2100)	6,418878408	153,317158
2,2 (2200)	6,569931507	156,925115

Для иллюстрации практического применения полученных формул (3.25) - (3.27) построим графики, на которых отобразим зависимости:

- массы m ударника от толщины h ледяного покрытия при радиусе r рабочей части сферического бойка-ударника $r=25$ мм, частоте обращения вала привода рабочего оборудования $n=300$ об/мин, радиусе вылета центра шарового бойка-ударника от оси вращения вала привода рабочего оборудования $R=250$ мм и различной температуре воздуха (рисунок 3.21);

- радиуса R вылета центра сферического бойка-ударника ($r=25$ мм, $m=1$ кг) относительно оси вала привода рабочего оборудования от толщины льда при частоте вращения вала привода рабочего оборудования $n=300$ об/мин, в условиях меняющейся температуры воздуха (рисунок 3.22);

- частоты вращения n вала привода рабочего оборудования от толщины ледового покрытия при радиусе $r=25$ мм рабочей части сферического бойка-ударника, радиусе вылета центра шарового бойка-ударника от оси вращения вала привода рабочего оборудования $R=250$ мм, массе ударника $m=1$ кг и различной температуре воздуха (рисунок 3.23).

Указанные параметры наиболее близко соответствуют параметрам реального рабочего органа для разрушения льда.

Таблица 3.10 – Масса ударника в зависимости от толщины льда $h_{\text{л}}$ и расчетной частоты вращения n рабочего органа

Толщина льда, h , мм	Частота вращения РО, n ($n_{\text{точн.}}$), об/мин	Расчетная (2.72) масса ударника, m ($m_{\text{точн.}}$), кг	Масса ударника в эксперименте, m , кг	Погрешность, %
Боек (ударник) – цилиндр с радиусом $r=9$ мм, или куб с гранью $l=9$ мм				
15	74,82 (73,46)	5,13 (5,6)	5,5	– 6,8
20	88,52 (84,84)	4,65 (5,6)	5,5	– 15,5
30	105,78 (103,8)	5,13 (5,6)	5,5	– 6,8
40	120,63 (119,97)	5,39 (5,6)	5,5	– 2,1
65	153,32 (152,91)	5,46 (5,6)	5,5	– 0,8
Боек (ударник) – сфера (радиус шаровой поверхности $r=25$ мм)				
4	115,88 (116)	0,488 (0,5)	0,5	– 2,5

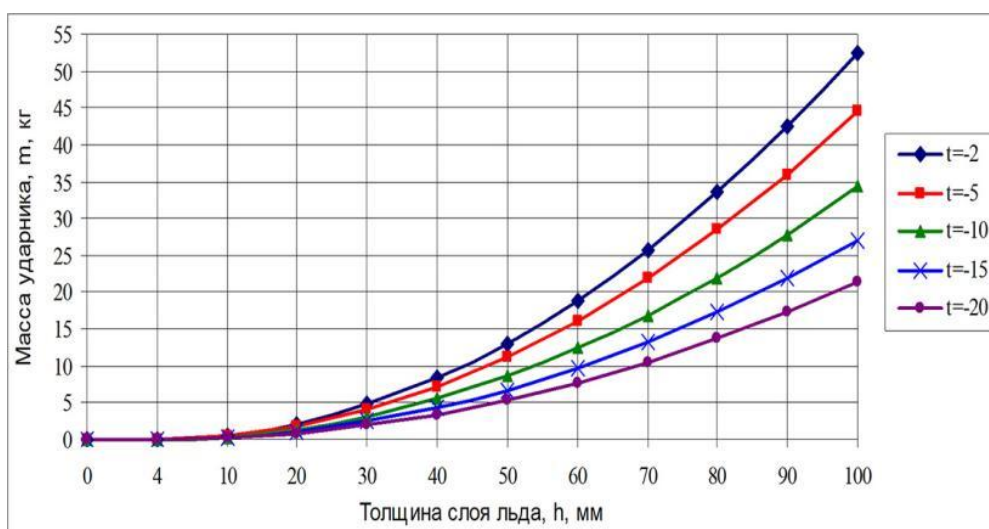


Рисунок 3.21 – Зависимость массы ударника от толщины льда при $r=25$ мм, $n=300$ об/мин, $R=250$ мм

Аналогичные графики можно построить для любых других значений параметров РО и характеристик льда.

По графикам рисунков 3.18 – 3.23 можно подобрать массу ударника, радиус расположения ударника относительно оси вращения РО или частоту

вращения РО для любых значений толщины льда при различных значениях температуры воздуха [98, с. 9].

Однако, недостатком данных графиков является то, что они построены по методике регрессионного анализа только для одного определенного значения частоты вращения РО, радиуса расположения РО, радиуса сферической рабочей поверхности ударника или массы ударника, - в зависимости от определяемого параметра.

При других значениях этих величин, отличающихся от тех, для которых построены графики рисунков 3.18 – 3.23, необходимый параметр нужно будет определять по эмпирико-теоретическим формулам (3.25 – 3.27), для чего удобно воспользоваться редактором электронных таблиц Microsoft Excel.

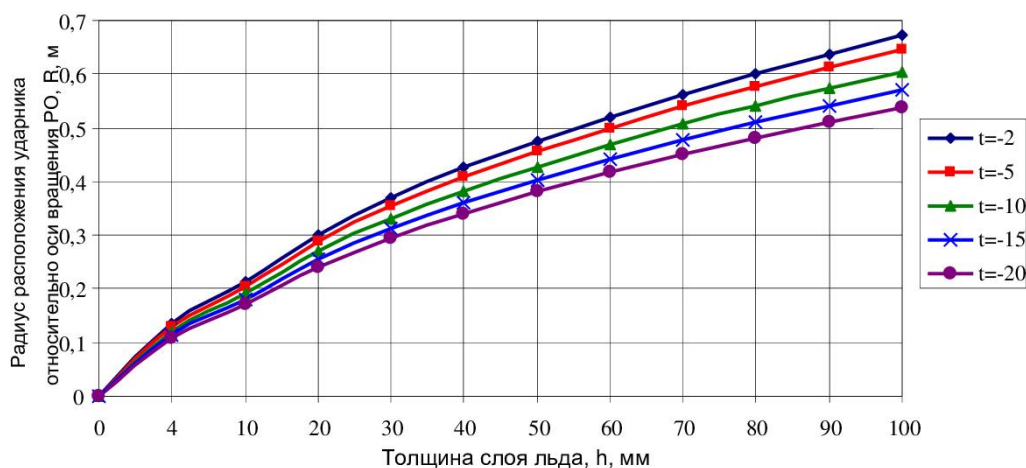


Рисунок 3.22 – Зависимость радиуса вылета ударников относительно оси вращения РО от толщины льда при $r=25$ мм, $n=300$ об/мин, $m=1$ кг

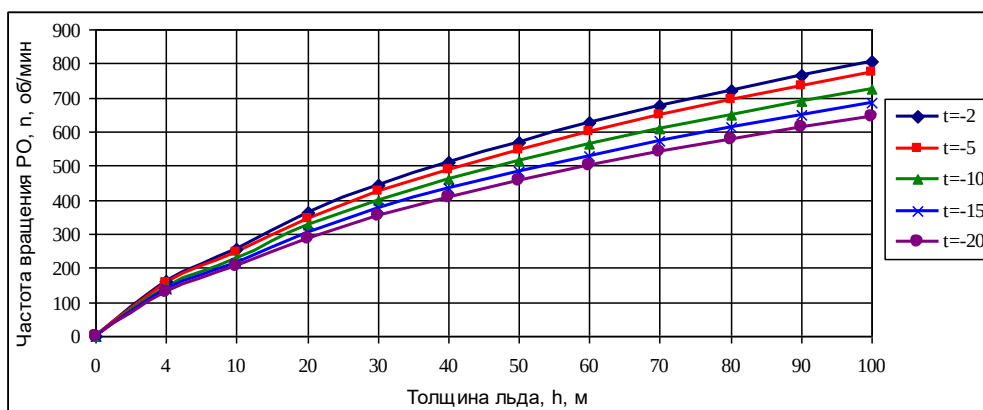


Рисунок 3.23 – Зависимость частоты вращения РО от толщины льда при $r=25$ мм, $R=250$ мм, $m=1$ кг

3.3.3 Эмпирическая корректировка теоретических зависимостей

Результаты экспериментов были обработаны с помощью программы Microsoft Excel. После обработки и анализа были установлено, что, согласно расчетам, во всех случаях для всех толщин разрушенного льда и для бойков с

различной фактической массой m_f и радиусом R разрушение льда происходило при создании в нем напряжений порядка $\sigma=65...66$ МПа на периферии, формула (2.71), площадки контакта бойка со льдом, что значительно превышает рекомендуемые допустимые напряжения разрушения для льда $\sigma=1,5...3$ МПа. При этом расчетные напряжения по формуле (2.71), во всех случаях оказались одинаковыми. Результаты вычисления напряжений представлены в таблице 3.11 [9, с. 6-24; 17, с. 60-65].

Таблица 3.11 – Напряжения, создаваемые в т. 2 (рисунок 2.8) сферическими бойками различной массы по формуле (2.71)

Масса бойка, m , кг	0	0,51	4,08	16,72	32,66
Радиус бойка, R , м	0	0,025	0,05	0,08	0,1
Напряжение в т. 2, σ_2 , МПа	0	65,89	65,89	65,89	65,89

Таким образом, можно сделать предположение, что для эмпирической корректировки в расчетные формулы (2.72), (2.73) для определения массы или скорости бойка вместо рекомендуемых допустимых напряжений следует подставлять вновь полученное в результате экспериментально-теоретических исследований напряжение, равное 66 МПа [45, с. 8-34; 71, с. 1-8; 74, с. 62-72].

Также во всех случаях установлена и прослеживается одинаковая взаимосвязь максимальной расчетной (формула (2.67)) величины проникновения сферического бойка в лед w (рисунок 2.8) с фактической толщиной h разрушаемого льда, определяемая отношением:

$$\lambda = \frac{h}{w} = 7...8, \quad (3.28)$$

где λ - коэффициент отношения (по результатам экспериментов $\lambda=7...8$);

h – фактическая толщина разрушаемого слоя льда, мм;

w – максимальная расчетная величина проникновения бойка в лед, мм.

Расчетные и экспериментальные величины проникновения бойка w и толщины h разрушаемого льда, а также соотношения между ними приведены на графике рисунка 3.24.

То есть, если сферический боек, у которого масса m связана с его радиусом R , не будет иметь достаточной проникающей способности, то, даже создав достаточные напряжения, боек не сможет расколоть лед данной толщины, т.к. не получит достаточного проникновения w .

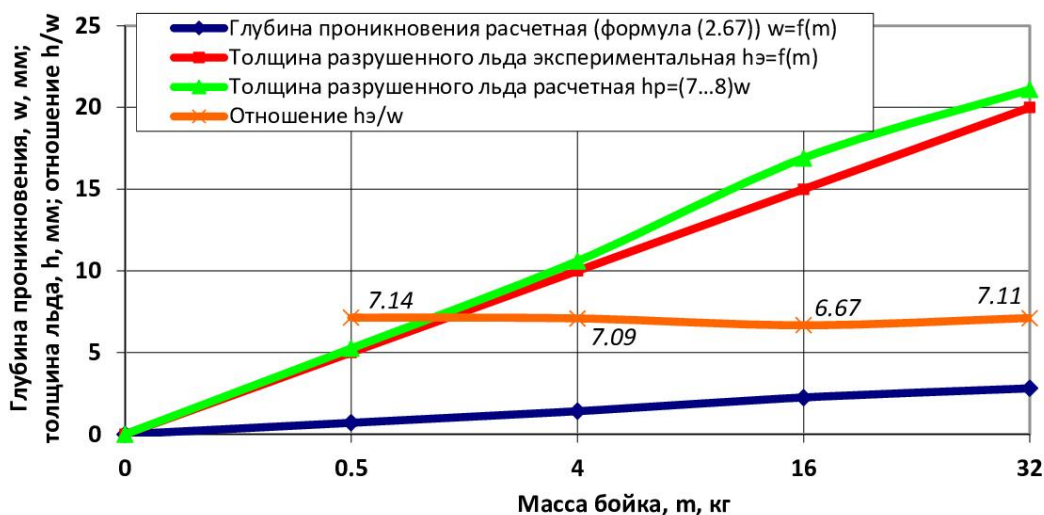


Рисунок 3.24 - Расчетные и экспериментальные величины проникновения бойка w и толщины h разрушаемого льда и их соотношение

Выявленное соотношение между глубиной проникновения бойка и толщиной разрушенного льда может быть объяснено тем, что под площадкой контакта происходит образование зоны мелкораздробленного льда, а трещины распространяются на гораздо большую глубину, чем зона мелкого дробления, а также тем, что под площадкой контакта возникают наибольшие контактные напряжения, которые значительно превосходят статический предел прочности при одноосном сжатии [17, с. 60-65; 44, с. 177-191; 71, с. 1-8].

Таким образом, можно предположить, что для разрушения льда определенной толщины необходимо выполнение двух условий:

1) В разрушаемом льду необходимо создать разрушающие напряжения определенной величины, а именно, не менее 66 МПа на периферии площадки контакта (точка 2, рисунок 2.8), или не менее 99 МПа в центре площадки контакта (точка 1, рисунок 2.8).

2) Обеспечить достаточное проникновение w бойка в лед (рисунок 2.8) на величину, не более чем в семь раз меньшую толщины разрушаемого льда.

Еще одним недостатком полученных теоретических зависимостей (2.72), (2.73) является то, что в них не учитывается именно толщина льда h . Поэтому для их практического использования необходимо вместо зависимостей от глубины проникновения бойка w получить зависимости от толщины льда h . Для этого воспользуемся выявленной зависимостью (3.28) и формулой (2.67) для величины w проникновения бойка в лед. Приняв из (3.28) $w=h/7$, и подставив это выражение в (2.67), после преобразований и подстановок получим формулы для определения массы и скорости соударения сферического бойка в зависимости от толщины разрушаемого льда:

$$m = \sqrt{\frac{E^2 \cdot R \cdot h^5}{16807 \cdot 0,88 \cdot (1 - \mu^2)^2 \cdot v_0^4}}, \text{ кг.} \quad (3.29)$$

$$v_0 = \sqrt[4]{\frac{E^2 \cdot R \cdot h^5}{16807 \cdot 0,88 \cdot \text{м}^2 \cdot (1 - \mu^2)^2}}, \text{ м/с.} \quad (3.30)$$

В таблице 3.12 приведены результаты расчета масс сферического бойка, определенных для экспериментальной скорости $v=4,85$ м/с, для вновь выбранных толщин разрушаемого льда $h=5; 10; 15; 20; 50$ мм: по формуле (2.72) – необходимой для создания разрушающих напряжений 66 МПа; по формуле (3.29) - необходимой для достаточного проникновения бойка в лед.

Из таблицы 3.12 видно, что результаты расчета масс бойка по напряжениям (формула (2.72)) и по проникающей способности (формула (3.29)) очень близки, а также хорошо согласуются с массами, при которых происходило разрушение льда соответствующей толщины при проведении экспериментов.

Таблица 3.12 - Результаты расчета масс бойка, необходимых для создания разрушающих напряжений и для проникновения бойка в лед

Толщина разрушенного льда, h , мм	0	5	10	15	20	50
Масса для внедрения в лед, m_b , кг	0	0,53	4,24	17,37	33,94	84,85
Масса для напряжений в т. 2, $m_{н2}$, кг	0	0,51	4,11	16,85	32,92	82,3
Масса по эксперименту, $m_э$, кг	0	0,5	4	16	32	80

Для проверки результатов, полученных в экспериментах со сферическими бойками, а также проверки пригодности скорректированных эмпирико-теоретических зависимостей и методики подбора массы или скорости бойка была проведена серия экспериментов (рисунок 3.25) по определению толщины льда, разрушаемой однократным воздействием бойка–стержня массой $m=5,5$ кг с полусферической ударной поверхностью радиусом $R=0,01$ м, выполненной с одного из его торцов, при его сбрасывании с различных высот H (от 0,25 до 2,5 м с шагом 0,25 м), то есть при различных скоростях его соударения со льдом, определяемых по формуле (3.24).



Рисунок 3.25 – Измерение глубины проникновения бойка в лед при его разрушении ударником ДОРНИИ со сферическим наконечником

Так, при сбрасывании бойка-стержня с высоты $h=0,25$ м, т.е. при скорости соударения $v=2,21$ м/с, от одного удара достигалось разрушение льда на глубину до 5 мм, при сбрасывании того же бойка-стержня с высоты $h=0,5$ и $0,75$ м, т.е. при скоростях соударения $v=3,13$ и $3,84$ м/с, от одного удара достигалось разрушение льда на глубину до 10 мм, и т.д. Другие результаты экспериментов по разрушению льда бойком-стержнем представлены на рисунке 3.26.

В экспериментах можно отметить две критические точки процесса разрушения льда – $H=1$ м и $H=1,75$ м, в которых происходит переход (увеличение) от одной глубины разрушения льда к другой (от 10 к 15 мм и от 15 к 20 мм). В этих точках предыдущая глубина разрушения льда (например, 10 мм) достигается достаточно легко, а разрушение на последующую, большую, глубину (например, 15 мм) происходит уже на границе возможностей.

Лед на глубину 30 мм и более в пределах использованных высот сбрасывания (скоростей соударения) эффективно разрушить не удалось.



Рисунок 3.26 - Результаты экспериментов по разрушению льда бойком - стержнем

Глубина проникновения бойка - стержня в лед была рассчитана теоретически (w_p по формуле (2.67)) и определена экспериментально (w_o по формуле (3.28)) в зависимости от высоты сбрасывания (скорости соударения) бойка и толщины h_o разрушенного в каждом случае льда. Результаты расчетов и измерений, представлены на рисунке 3.27 [99, с. 9].

Максимальное отклонение расчетной глубины проникновения бойка w_p (формула (2.67)) от экспериментальной w_o , найденной как $w_o=h_o/7$ с последующим округлением, не превышает 18%, а среднее – 9%, что для подобных экспериментов достаточно точно и подтверждает справедливость расчетной формулы (2.67) и выявленного соотношения (3.28) между толщиной льда и глубиной проникновения в него бойка.

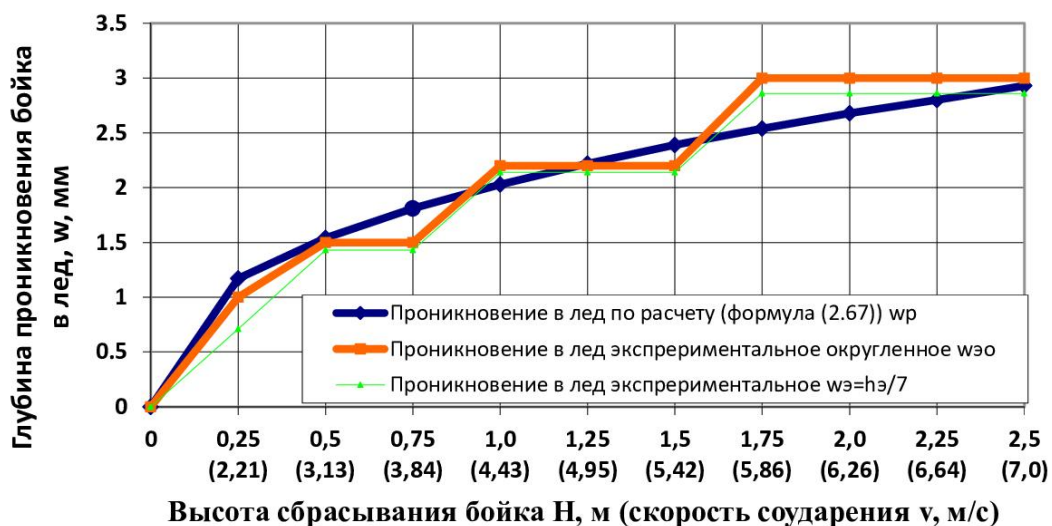


Рисунок 3.27 - Результаты теоретического и экспериментального определения глубины проникновения бойка - стержня в лед

Напряжения на периферии (точка 2, рисунок 2.8) площадки контакта бойка - стержня со льдом, определенные по формуле (2.71), показаны на рисунке 3.28.

По формулам (2.72) и (3.29) были определены массы бойка – стержня, необходимые для создания напряжений разрушения и для необходимого проникновения в лед, а по формулам (2.73) и (3.30) были определены скорости соударения бойка – стержня, также необходимые для создания напряжений разрушения и проникновения бойка – стержня в лед. Было проведено сравнение расчетных значений масс с фактическим значением массы бойка – стержня в экспериментах. Результаты представлены на рисунках 3.29, 3.30, 3.31. На графике рисунка 3.29, как и ранее, хорошо видны две критические точки при $H=1$ м и при $H=1,75$ м, когда разрушение льда происходило на границе возможностей.

Эксперименты с бойком - стержнем подтвердили сделанные ранее на основе экспериментов со сферическими бойками предположения о значении реальных напряжений, соотношении между глубиной проникновения бойка в лед и толщиной льда и другие, а также подтвердили возможность использования в практических расчетах скорректированных эмпирико-теоретических зависимостей.

Исходя из полученных результатов, методика определения необходимой для разрушения льда заданной толщины массы m или скорости v соударения сферического бойка с использованием полученных зависимостей будет заключаться в следующем: При заданной скорости v соударения бойка со льдом и средней толщиной разрушаемого льда h , находим независимо друг от друга две массы бойка: массу, необходимую для создания разрушающих напряжений (по формуле (2.72) при $[\sigma] \geq 66$ МПа) и массу, необходимую для обеспечения достаточной глубины проникновения бойка в лед на глубину $w=h/7$ мм, по формуле (3.29).

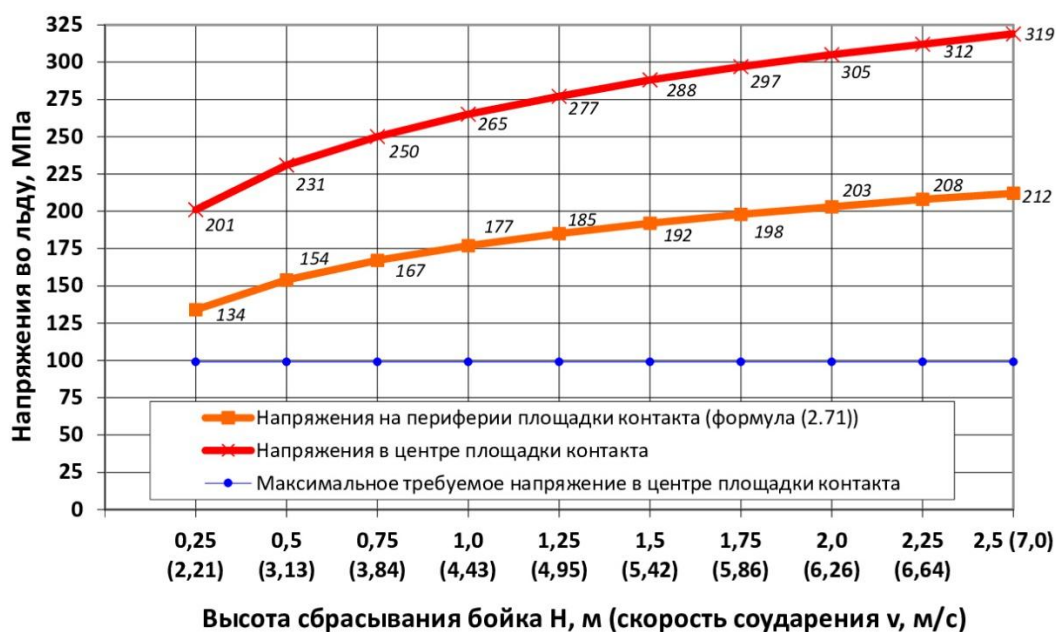


Рисунок 3.28 - Напряжения на периферии и в центре площадки контакта бойка- стержня со льдом

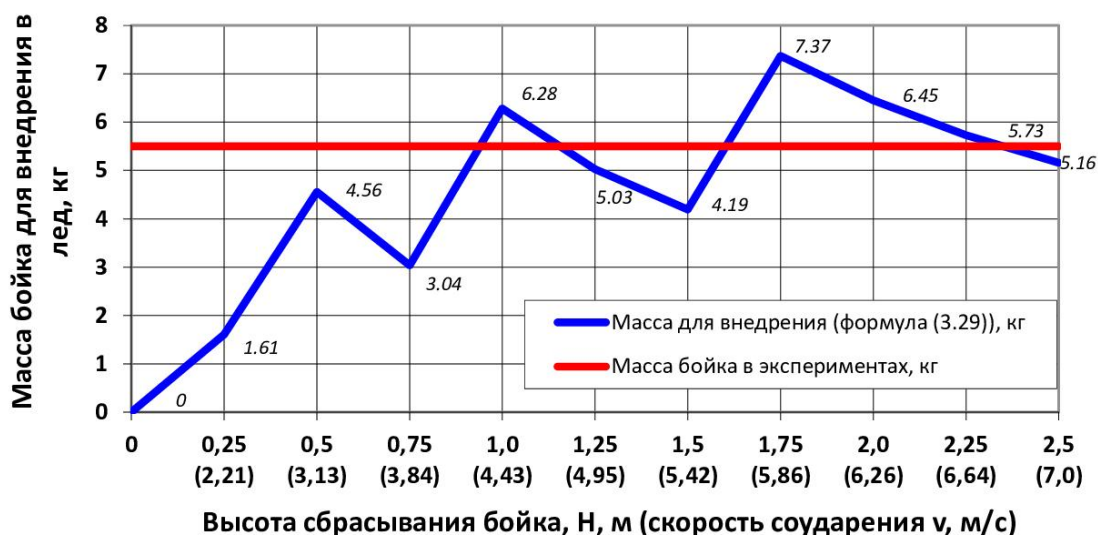


Рисунок 3.29 – Масса бойка для необходимого проникновения в лед

Скорость v соударения бойка со льдом для его достаточного проникновения в лед, находим при подстановке в формулу (3.30) массы, найденной для напряжений, а скорость для обеспечения необходимых разрушающих напряжений находится при подстановке в формулу (2.73) массы, найденной для величины проникновения в лед [99, с. 9].

На практике для гарантированного разрушения льда массу и скорость соударения сферического бойка рекомендуется определять по формулам (3.29) и (3.30) для обеспечения проникновения бойка в лед, а затем проверять по формулам (2.72), (2.73) на создание разрушающих напряжений.

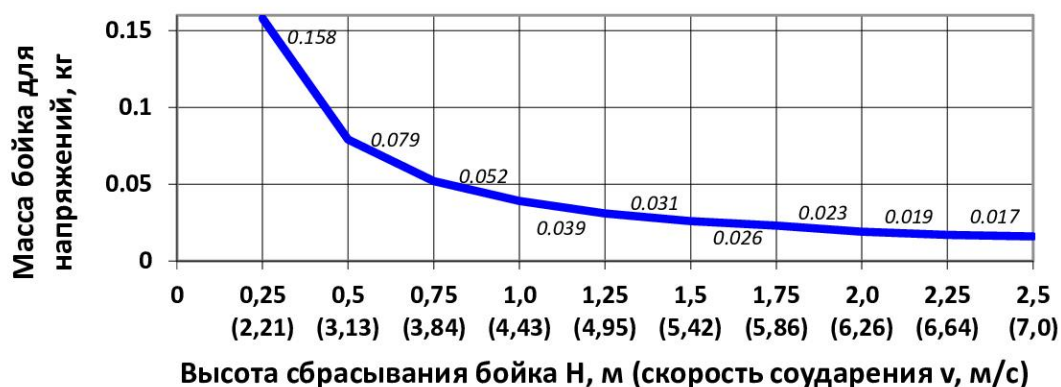


Рисунок 3.30 - Масса бойка для необходимых напряжений разрушения

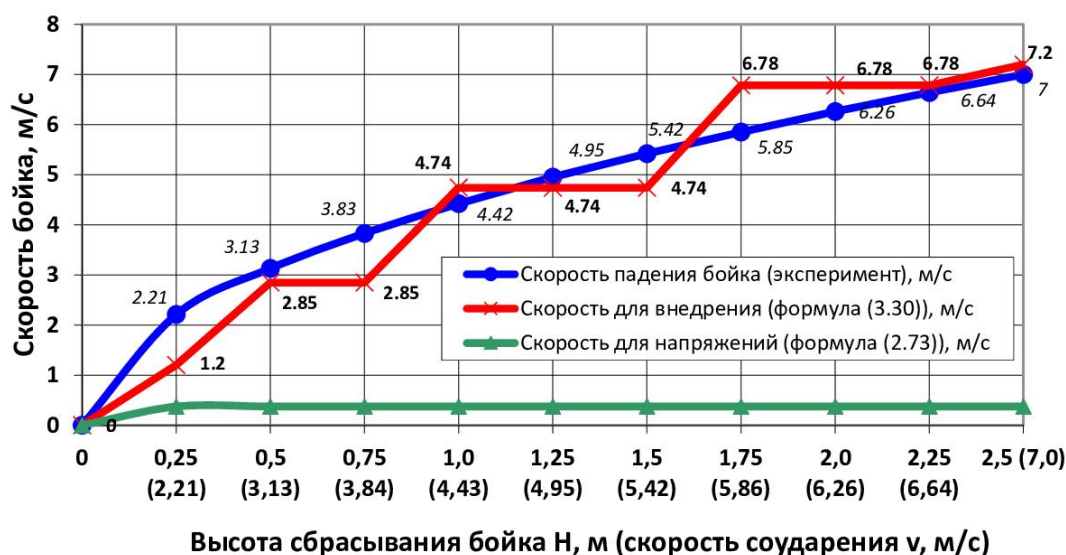


Рисунок 3.31 - Скорости бойка для необходимого внедрения в лед и для необходимых напряжений разрушения

При этом, для гарантии разрушения льда, определяя массу и скорость соударения бойка на основе соотношения (3.28) между толщиной h разрушаемого льда и глубиной w проникновения бойка в лед, рекомендуется принимать, что фактически будет разрушен слой льда толщиной, не более чем в пять раз большей глубины проникновения бойка в лед, то есть $h_{\text{факт}} \leq 5 \cdot w$.

Предложенная на основе результатов теоретических и экспериментальных исследований методика позволяет подобрать для рабочего органа со сферическими бойками такую величину ударного воздействия на лед, характеризуемую массой бойка и скоростью его соударения со льдом, при которой возможно разрушить лед заданной прочности и толщины, что дает возможность проведения инженерных расчетов и определения при проектировании и эксплуатации параметров рабочего органа, а также возможность решения различных проектировочных задач.

Практическое использование определяемых параметров для регулирования протекания процесса разрушения льда рекомендуется осуществлять следующим образом. Исходя из практического опыта использования РО для разрушения льда ударом, текущее точное регулирование протекания процесса разрушения льда с изменением величины воздействия от небольших пределов до самых широких, удобно осуществлять регулированием частоты вращения РО (т.е. скорости удара), а периодическое ступенчатое регулирование процесса при существенном изменении условий работы можно осуществлять сочетанием изменения массы ударника и радиуса расположения ударника.

Можно также регулировать процесс разрушения льда изменением радиуса сферической рабочей поверхности ударника, однако это довольно сложно осуществить конструктивно и практических решений для реализации данного способа регулирования еще не разработано.

3.4 Сравнительные форсированные испытания на надежность рабочих секций льдоскалывателя со сферическими бойками на гибких тягах

Для осуществления процесса непрерывного разрушения льда сферической ударной поверхностью были разработаны и спроектированы новые рабочие органы (РО) льдоскалывателей (рисунок 3.32), представляющие собой сборный ротор с инерционными ударными бойками различной формы на гибкой связи (Приложение А; Приложение Б).

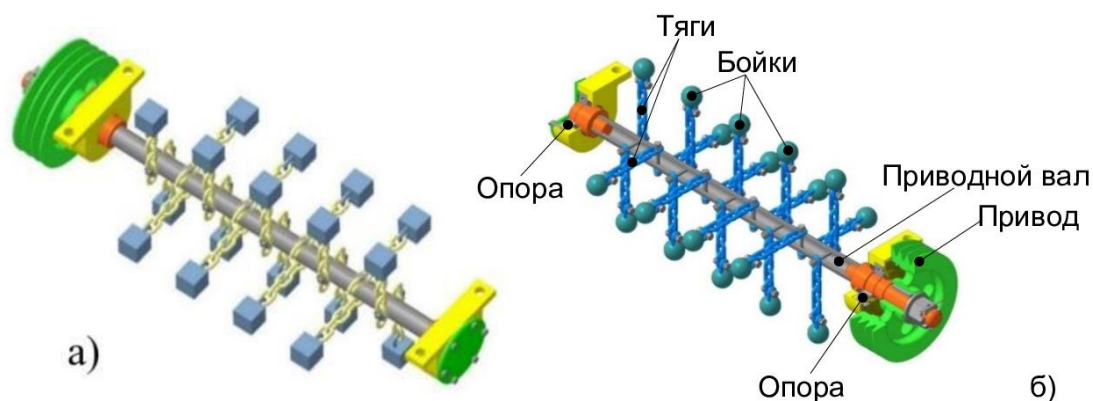


Рисунок 3.32 - Рабочий орган льдоскалывателя, оборудованный бойками с кубической (а) и сферической (б) ударной поверхностью на гибкой связи

Удобнее всего гибкую связь выполнить из стальных цепей. Это, в свою очередь, требует наличия расчетных зависимостей для определения параметров рабочих органов (РО) для соответствующих условий работы.

При расчете необходимо не только подобрать величину ударного воздействия рабочего органа, необходимую для разрушения льда с заданными характеристиками, но и обеспечить минимальную величину энергии разрушения, которой было бы достаточно для разрушения льда, но

недостаточно для разрушающего воздействия на дорожное покрытие.

Величина разрушающего воздействия РО на лед должна быть регулируемой в зависимости от условий работы РО, что значительно расширит условия и возможности ее применения.

Разработанный в ходе выполнения диссертационной работы рабочий орган (рисунок 3.32) весьма прост по конструкции и состоит из посаженных на приводной вал (рисунок 3.33), сменных секций (рисунок 3.34 и 3.35), смонтированных из отдельных деталей.

На посту сборки осуществляется соединение деталей в секцию путем их сварки между собой по разработанной технологии (рисунок 3.36). Далее производят сборку полученных секций в рабочий орган льдоскалывателя путем насаживания и закрепления секций на приводном валу (рисунок 3.33) (Приложения Б, В).

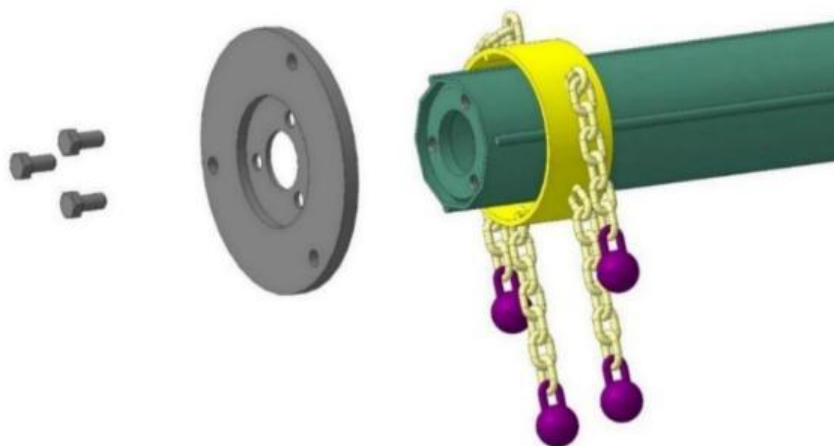


Рисунок 3.33 – Порядок комплектования рабочего органа сменными секциями

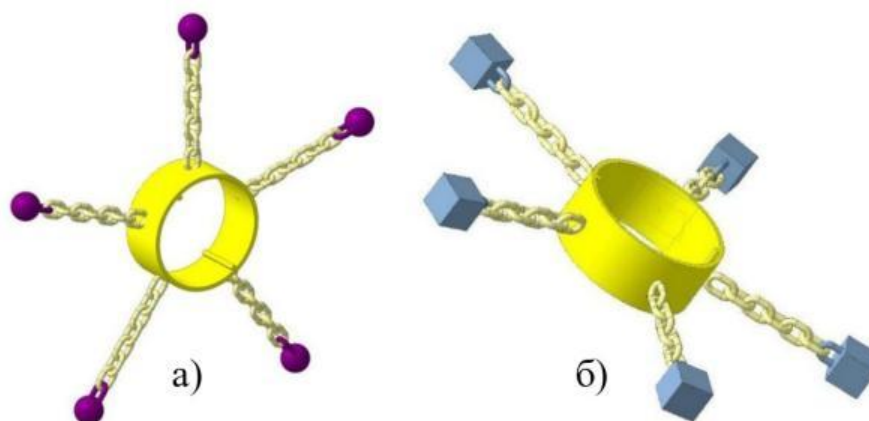
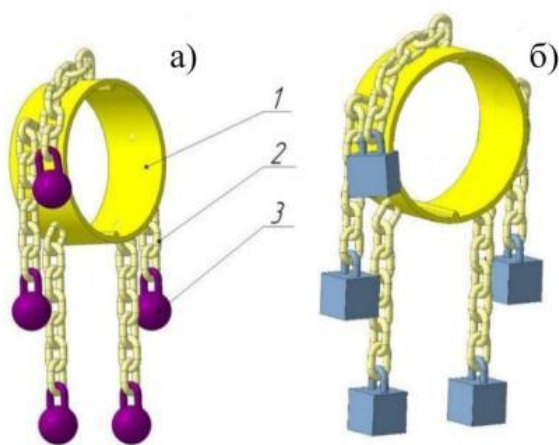
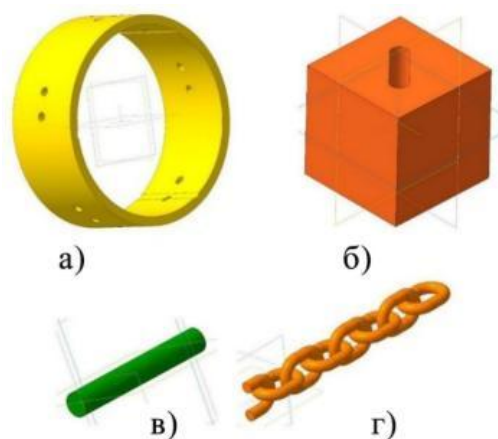


Рисунок 3.34 – Ударные секции с инерционными бойками различной формы на гибкой связи в рабочем положении (при полном вылете бойков)



1 – кольцо; 2 – цепь; 3 – боёк

Рисунок 3.35 – Съемные секции с бойками различной формы в свободном, нерабочем положении



а) кольцо; б) боек; в) упор; г) гибкая тяга

Рисунок 3.36 – Детали ударной сменной секции

Изображение экспериментального рабочего органа с бойками кубической формы приведено на рисунке 3.37.

На рисунке 3.38 приведен общий вид роторного рабочего органа с инерционными бойками, вращающимися вокруг жесткой оси без использования гибких связей.

Прежде чем проводить эксперименты на натурном рабочем органе, монтируемом на тракторе МТЗ-82, было решено проверить безопасность его работы в лабораторных условиях. Новые виды разрабатываемой продукции, должны подвергаться испытаниям с использованием различного оборудования и средств контроля для выявления конструктивных, технологических факторов, режимов и условий работы, влияющих на выходные характеристики, ресурс изделий и их функциональность, на показатели надежности изделий [9, с. 6-36].



Рисунок 3.37 – Инерционные бойки кубической формы на гибкой цепной связи

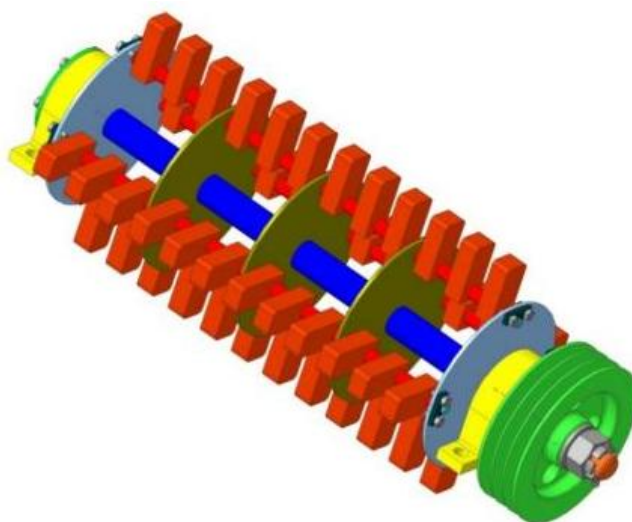


Рисунок 3.38 - Цифровая модель роторного льдоскалывателя без гибкой цепной связи, вид общий

Целью испытаний рабочих секций (РС) является выяснение их работоспособности и функциональности, безотказности и соответствия времени работы РС требуемому ресурсу; оценка вариантов конструкции объекта; выявление «слабых» мест конструкции; решение вопроса о возможности передачи РС в опытное производство и эксплуатацию.

Результатом испытаний будет оценка характеристик и свойств РС, установление ее соответствия заданным требованиям. [23, с. 266-290].

3.4.1 Лабораторные ресурсные испытания рабочих секций льдоскалывателя на их работоспособность, функциональность и безотказность

Объектом испытаний являлись разрушающие секции льдоскалывателя со сферическими или квадратными бойками на гибкой связи для разрушения

льда (комплекта навесного оборудования).

Испытания проводились на образцах (тест-изделиях), конструкция, состав, размеры и технология изготовления которых совпадали с натурной продукцией, готовой к запуску в производство. Рабочий орган льдоскалывателя состоит из набора исследуемых секций, насаженных в ряд по всей длине приводного вала и зафиксированных с торцов вала цапфами. В данном случае испытывалось непосредственно изготовленное цельное натурное тест-изделие РС, состоящее из кольца, упоров, гибких тяг и кубических бойков. Кубические бойки были выбраны в противовес уже испытываемым и собранным в натурный рабочий орган сферических бойков. При этом кубический боек может подвергаться непредсказуемым соударением с разбиваемой поверхностью, так как содержит грани, плоскость соударения которых может изменить и силу и площадь контакта.

На рисунке 3.39 дано изображение испытываемого образца РС

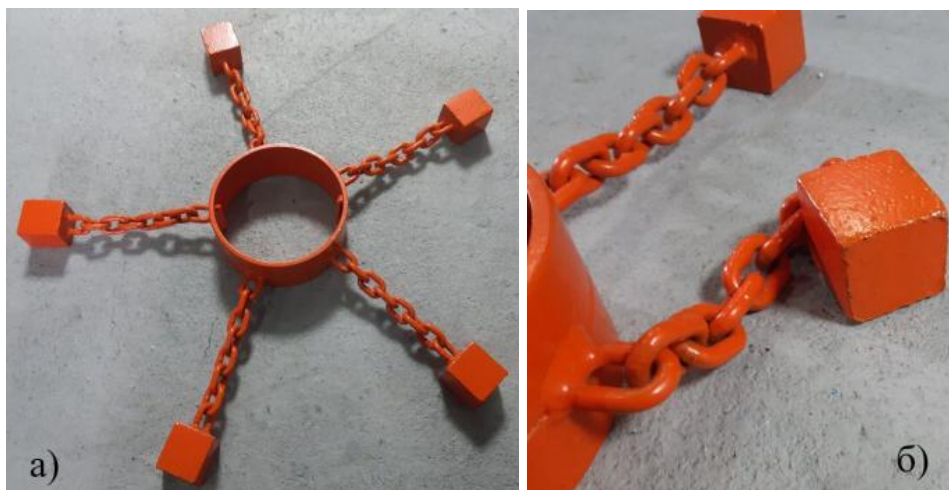


Рисунок 3.39 - Внешний вид испытываемого образца РС в сборе (а) и отдельно (б)

Соответствие конструкции РС техническим требованиям и заявленным характеристикам, было обосновано потребностью в их экспериментальном подтверждении.

Экспериментальные испытания проводились с техническими перерывами. Продолжительность и срок проведения испытаний определялись временем, необходимым для достижения цели и решения задач испытаний.

Прежде чем выполнять эксперименты, произведем расчеты на прочность конструкции бойка с тягой.

Практика показывает, что наибольшую опасность с точки зрения разрушения конструкции представляют центробежные силы инерции от массы бойка при его вращении (рисунок 3.40). Масса одного бойка m (кг), раскручиваясь с угловой скоростью ω (с^{-1}), создает растягивающее усилие S (Н) в гибкой тяге и изгибающие $M_{\text{и}}$ (Н·м) и срезающие S (Н) усилия в пальце, соединяющем тягу с бойком. Именно эти два элемента нуждаются в расчете

на прочность. Для стали 10 напряжения: при растяжении $[\sigma]=110...130$ МПа; при срезе $[\tau]=65...70$ МПа; при изгибе $[\sigma_{\text{и}}]=145...155$ МПа.

Растягивающее усилие (центробежная сила):

$$C = m \cdot R \cdot \omega^2 = 0,5 \cdot 0,25 \cdot 105^2 = 1378 \text{ Н}$$

Частоту вращения РС примем равной 1000 об/мин, тогда угловая скорость:

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} = \frac{\pi \cdot 1000}{30} = 105 \text{ с}^{-1}.$$

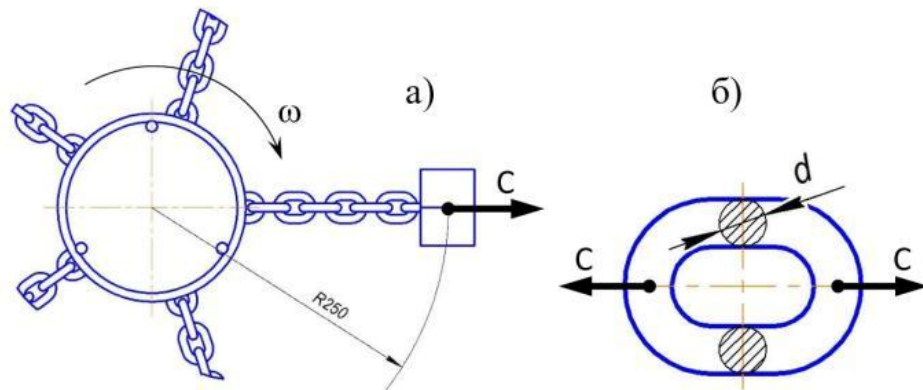


Рисунок 3.40 – Расчетная схема нагружения РС к расчету на прочность

Наибольшую массу имеет кубический боек, так как шар или цилиндр того же радиуса, что и длина стороны куба, являются вписанными в куб. Масса бойка:

$$m = \rho \cdot V = \rho \cdot a^3 = 7800 \cdot 0,04^3 = 0,5 \text{ кг}$$

Напряжение при растяжении звена цепи:

$$\sigma = \frac{C}{A} \leq [\sigma], \text{ Па}$$

где A – площадь поперечного сечения проволоки звена цепи, м^2 ;

$[\sigma]$ – допускаемое напряжение при растяжении, Па; $[\sigma]=110...130$ МПа.

Откуда потребная для обеспечения прочности площадь сечения проволоки звена цепи:

$$A = \frac{C}{[\sigma]}, \text{ м}^2$$

Также площадь определяется:

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4}, \text{ м}^2,$$

где d – диаметр проволоки звена цепи, м.

Откуда диаметр проволоки звена цепи:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot C}{\pi \cdot [\sigma]}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1378}{\pi \cdot 120 \cdot 10^6}} = 0,0038 \text{ м} = 3,8 \text{ мм.}$$

Учитывая, что в звене круглозвенной цепи напряжения распределяются между двумя ветвями звена, т.е. между двумя площадями, необходимый минимальный диаметр d_3 проволоки звена будет:

$$d_3 = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{2 \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot C}{2 \cdot \pi \cdot [\sigma]}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1378}{2 \cdot \pi \cdot 120 \cdot 10^6}} = 0,0027 \text{ м} = 2,7 \text{ мм.}$$

Подставив в формулы выражение для определения силы C , получим зависимости диаметра проволоки звена цепи от угловой скорости (частоты вращения) рабочего органа:

- для одного сечения звена

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot m \cdot R \cdot \omega^2}{\pi \cdot [\sigma]}}, \text{ м.}$$

- для двух сечений звена

$$d_3 = \sqrt{\frac{4 \cdot m \cdot R \cdot \omega^2}{2 \cdot \pi \cdot [\sigma]}}, \text{ м.}$$

По формулам $d = \sqrt{\frac{4 \cdot m \cdot R \cdot \omega^2}{\pi \cdot [\sigma]}}$ и $d_3 = \sqrt{\frac{4 \cdot m \cdot R \cdot \omega^2}{2 \cdot \pi \cdot [\sigma]}}$ построим графики (рисунок 3.41) зависимости диаметра проволоки звена d от угловой скорости (частоты вращения) рабочего органа.

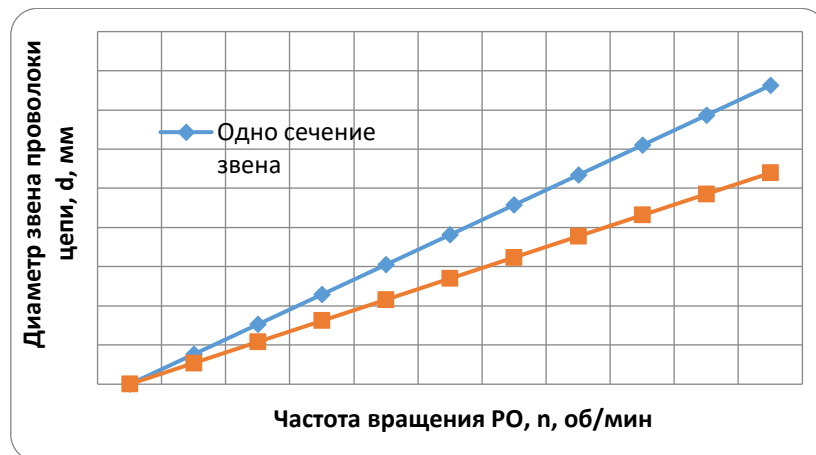


Рисунок 3.41 – Зависимость диаметра проволоки звена цепи при

растяжении от частоты вращения приводного вала РО

Произведем расчет на срез пальца для одноопорной (консольной) (рисунок 3.42, а) и двухопорной (рисунок 3.42, б) схемы закрепления бойка на гибкой тяге.

Условие прочности на сдвиг (срез) может быть записано в следующем виде:

$$\tau_{\max} = \frac{C}{A} \leq [\tau], \text{ Па}$$

где C – срезающая сила (центробежная сила), Н;

A – площадь поперечного сечения пальца, м^2 ;

$[\tau]$ – допускаемое напряжение при срезе, Па; $[\tau]=65\ldots70$ МПа.

Откуда потребная для обеспечения прочности площадь сечения пальца:

$$A = \frac{C}{[\tau]}, \text{ м}^2$$

Также площадь определяется:

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4}, \text{ м}^2,$$

где d – диаметр пальца, м.

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot C}{\pi \cdot [\tau]}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1378}{\pi \cdot 65 \cdot 10^6}} = 0,0052 \text{ м} = 5,2 \text{ мм.}$$

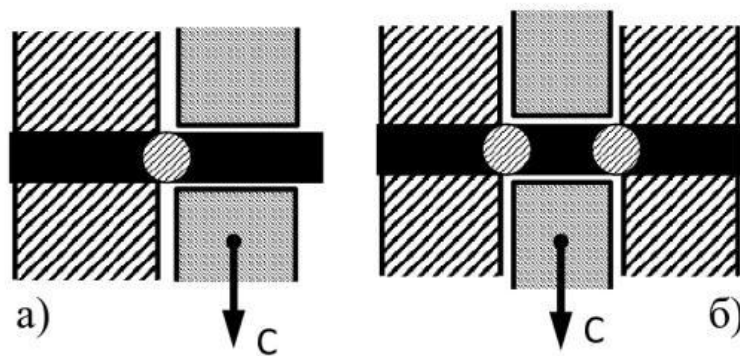


Рисунок 3.42 – Расчетная схема нагружения пальца бойка на срез

При наличии двух опор (проушин) на бойке площадь среза удваивается, тогда необходимый минимальный диаметр d пальца будет:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{2 \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot C}{2 \cdot \pi \cdot [\tau]}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1378}{2 \cdot \pi \cdot 65 \cdot 10^6}} = 0,0037 \text{ м} = 3,7 \text{ мм.}$$

Подставим в формулу выражение для определения силы C , получим

зависимость диаметра пальца от угловой скорости (частоты вращения) рабочего органа:

- для одного сечения пальца (консольная схема)

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot m \cdot R \cdot \omega^2}{\pi \cdot [\tau]}}, \text{ м.}$$

- для двух сечений пальца (двухопорная схема)

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot m \cdot R \cdot \omega^2}{2 \cdot \pi \cdot [\tau]}}, \text{ м.}$$

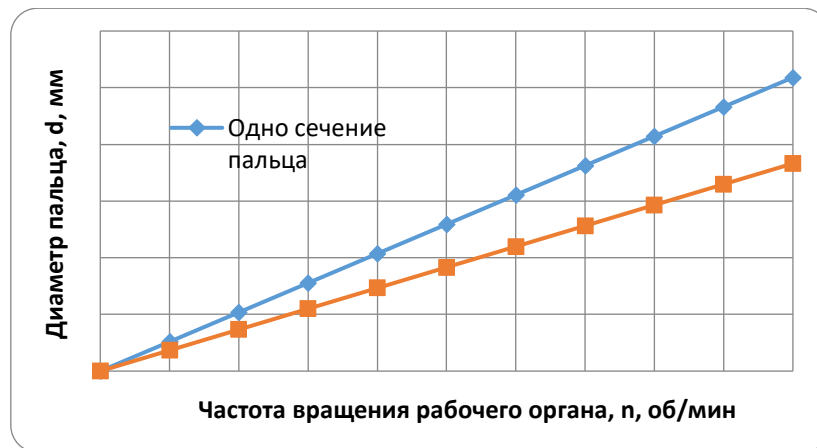


Рисунок 3.43 – Зависимость диаметра пальца при срезе от частоты вращения приводного вала РО

По формулам $d = \sqrt{\frac{4 \cdot m \cdot R \cdot \omega^2}{\pi \cdot [\tau]}}$ и $d = \sqrt{\frac{4 \cdot m \cdot R \cdot \omega^2}{2 \cdot \pi \cdot [\tau]}}$ построим графики (рисунок 3.43) зависимости диаметра пальца d от угловой скорости (частоты вращения) рабочего органа.

Произведем расчет на изгиб пальца для двухопорной схемы (рисунок 3.44) закрепления бойка на гибкой тяге.

Напряжения при изгибе определяются:

$$\sigma_{\text{и}} = \frac{M_{\text{и max}}}{W} \leq [\sigma_{\text{и}}], \text{ Па}$$

где $M_{\text{и max}}$ – максимальный изгибающий момент, Н·м;

$[\sigma_{\text{и}}]$ – допускаемое напряжение при изгибе, Па; $[\sigma] = 145 \dots 155 \text{ МПа}$.

W – момент сопротивления сечения пальца при изгибе, м^3 ;

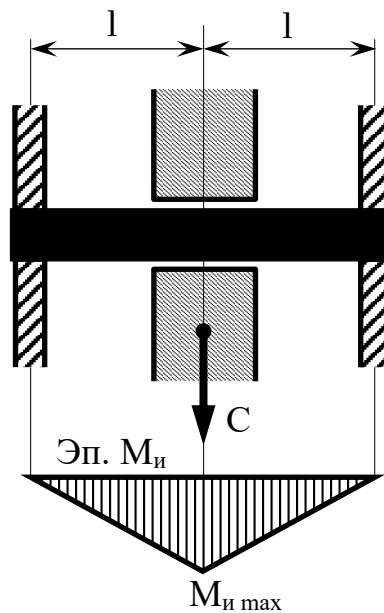


Рисунок 3.44 – Расчетная схема нагружения пальца при изгибе

Изгибающий момент определяется:

$$M_{и max} = C \cdot l = 1378 \cdot 0,01 = 13,78 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где l – плечо действия силы C , м; $l = 10 \text{ мм} = 0,01 \text{ м}$.

Момент сопротивления сечения:

$$W = \frac{\pi \cdot d^3}{32} \approx 0,1 \cdot d^3, \text{ м}^3$$

Тогда напряжения:

$$\sigma_{и} = \frac{32 \cdot M_{и max}}{\pi \cdot d^3} \leq [\sigma_{и}], \text{ Па}$$

Откуда необходимый минимальный диаметр пальца:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{и max}}{\pi \cdot [\sigma_{и}]}} \approx \sqrt[3]{\frac{M_{и max}}{0,1 \cdot [\sigma_{и}]}} \text{, м}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{и max}}{\pi \cdot [\sigma_{и}]}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 13,78}{\pi \cdot 150 \cdot 10^6}} = 0,0098 \text{ м} = 9,8 \text{ мм}$$

По формуле

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot C \cdot l}{\pi \cdot [\sigma_n]}}$$

построим график (рисунок 3.45,а) зависимости диаметра пальца d от плеча l действия силы C .

По формуле

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot m \cdot R \cdot \omega^2 \cdot l}{\pi \cdot [\sigma_n]}}$$

построим график (рисунок 3.45,б) зависимости диаметра пальца d от угловой скорости (частоты вращения) рабочего органа.

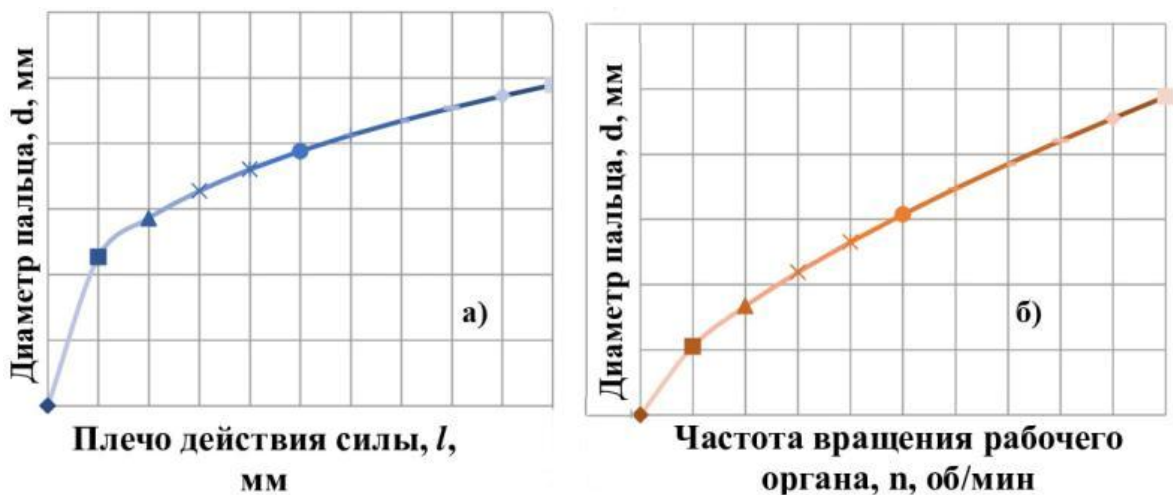


Рисунок 3.45 – Зависимость диаметра пальца при изгибе от плеча действия изгибающей силы (а) и от частоты вращения приводного вала РС

3.4.2. Стендовые испытания рабочей секции ледоскалывателя на прочность, деформацию и циклическую выносливость

Следующим этапом стали лабораторные стендовые испытания РС, для проведения которых был специально разработан (спроектирован) стенд, состоящий из рамы; камеры - закрытого пространства для размещения испытываемого образца РС, в котором создаются необходимые условия для испытаний. Кроме этого, служит для обеспечения безопасности проведения испытаний и снижения уровня шума; нагрузочно-имитирующее устройство – сменной подложки переменной жесткости (жесткость изменяется путем растяжения (при уменьшении жесткости) или сжатия (при увеличении жесткости) регулировочных пружин), которая имитирует условия работы и нагружения испытываемого образца; электропривода с системой управления, состоящего из электродвигателя ($N=2,2$ кВт, $n=2865$ об/мин) с частотным регулятором скорости вращения для приведения в движение (вращение) испытываемого образца РС и создания усилия (крутящего момента),

действующего на образец, кнопок пуска и остановки электродвигателя (рисунок 3.46).

При проведении испытаний натурный образец РС закреплялся на специальную муфту на валу электродвигателя испытательной установки.

Экспериментальное обоснование конструкции и параметров РС подтверждалось на опытном стенде и в натурных условиях и содержало физические испытания с искусственным внешним воздействием на прочность, ресурс и функциональность.

Положительным результатом считалось сохранение изделием изначальных эксплуатационных качеств после наработки определенного ресурса.

Комплекс внешних воздействий, обуславливающих деградационные процессы в испытываемом объекте под действием нагрузок испытательного стенда, количественно и качественно связаны с режимами эксплуатации РС, определяются на основании данных эксплуатационных наблюдений и позволяют оценить параметры прочности, ресурса и функциональности.

Если какой-либо из параметров при стендовых опытах не подтверждался и был отказ в работе, то считалось, что и в натурных условиях этот отказ обязательно произойдет [101 - 103].

Испытания для экспериментального обоснования конструкции РС можно охарактеризовать следующим образом: мало образцовые длительные технологические натурные физические испытания на стенде реальных готовых изделий на прочность, выносливость и функциональность в условиях сложного напряженного состояния.

Общими задачами испытаний (экспериментальных исследований) РС является получение следующих данных:

- 1) оценка функциональности;
- 2) оценка прочности и ресурса (прочность и деформативность гибких тяг; прочность (отсутствие хрупкого разрушения) и деформации (пластические) при ударном сжатии бойков; контактный износ бойков; прочность и деформативность соединений; ресурс РС и ее элементов);
- 3) оценка конструктивной схемы, конструкции элементов;
- 4) оценка правильности подбора материалов, заготовок, технологий, типов и способов соединения элементов в конструкцию;
- 5) проверка результатов теоретических расчетов.

Основные способы определения характеристик изделия при испытаниях – визуальный (путем осмотра и фиксации проявления отказа) и инструментальный (путем измерений величин, характеризующих отказ).

Общая последовательность испытаний тест-изделия РС:

- 1) Произвести подготовительные работы по наладке и испытаниям.
- 2) Произвести установку тест-изделия РС на стенд.
- 3) Произвести испытания тест-изделия РС.
- 4) Произвести контроль состояния и характеристик тест-изделия РС, ее элементов и соединений после испытаний.

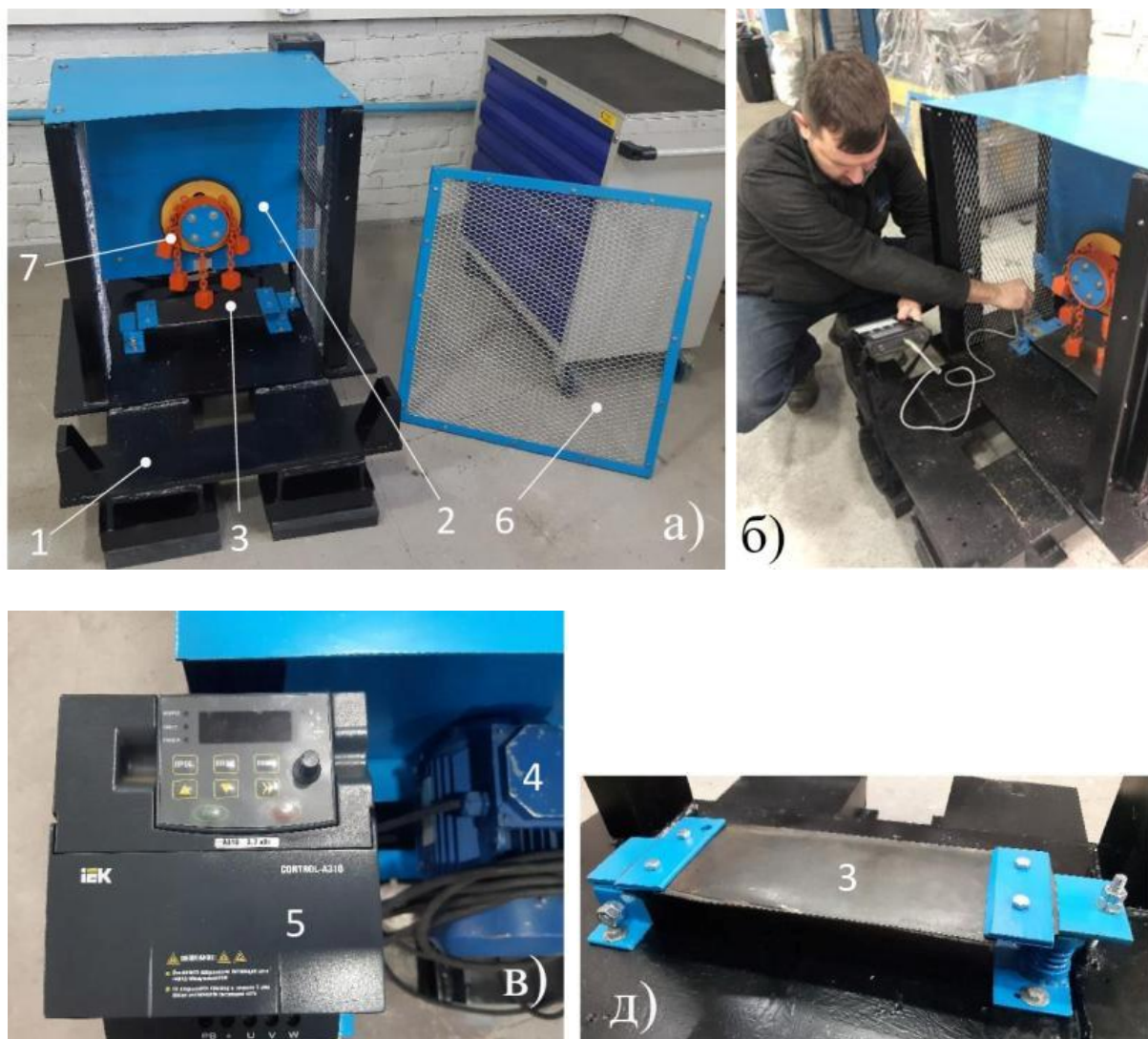
5) Проанализировать результаты испытаний тест-изделия РС, сделать заключение о качестве конструкции и изготовления РС, ее функциональности.

6) При необходимости выявить причины брака тест-изделия РС, разработать меры по предупреждению возможного брака РС.

7) При необходимости по результатам испытаний внести изменения в конструкцию РС, ее элементов, выбор материалов и заготовок и в технологический процесс изготовления РС и ее элементов.

8) При необходимости по результатам испытаний изменить технические характеристики и режимы работы РС.

9) При необходимости по результатам испытаний разработать рекомендации и правила по эксплуатации РС и всего РО.



а) – общий вид стенда; б) тарировка датчиков; в) - электропривод с системой управления; д) - нагрузочно-имитирующее устройство: 1 – рама; 2 – камера; 3 - нагрузочно-имитирующее устройство; 4 – электродвигатель; 5 - частотный регулятор скорости вращения электродвигателя; 6 – защитная сетка камеры; 7 – испытываемая РС (тест-изделие)

Рисунок 3.46 – Испытательный стенд

3.4.3 Испытания РС на прочность

Испытания на прочность имели целью выяснить способность конструкции РС сопротивляться разрушению и деформациям, вызываемым действием внешней нагрузки, прежде всего центробежными силами, действующими на тяги при вращении РС, и динамическими силами, вызванными ударами бойков по поверхности взаимодействия [9, с. 8-22; 13, с. 4-17; 16, с. 3-20; 36, с. 63-71].

Проверка прочности осуществлялась на стенде путем проведения форсированных испытаний. Определялись разрушение или предельная деформация элементов конструкции при работе на режимах нагружения, превышающих нормальные эксплуатационные режимы.

Для положительного результата испытаний на прочность конструктивные элементы РС и конструкция в целом должны были продемонстрировать: достаточную прочность элементов РС (бойки, гибкие тяги) и их соединений при действии ударной нагрузки; твердость контактных поверхностей бойков при местных контактных воздействиях; способность сохранять прочностные свойства в течение длительного времени работы. При этом РС должна была сохранить функциональность.

3.4.4 Испытания на прочность и деформативность гибких тяг РС

Гибкие тяги в конструкции РС работают преимущественно под статическими нагрузками, поэтому для оценки их механических свойств были проведены статические испытания на холостом ходу (без контакта бойков с подложкой), которые проводятся при действии на тяги максимальных растягивающих центробежных сил (рисунок 3.47) от массы бойка при вращении РС.

При испытании (рисунок 3.48) РС устанавливалась в камере на валу электродвигателя, таким образом, чтобы при ее вращении исключался контакт бойков с подложкой. Электродвигатель с помощью частотного регулятора устанавливался на частоту вращения 1500 об/мин (частота регулятора 26 Гц) и запускался. РС вращалась с максимальной скоростью в течение длительного времени (100 часов с перерывами (по 10 часов в день) (рисунок 3.48, а).

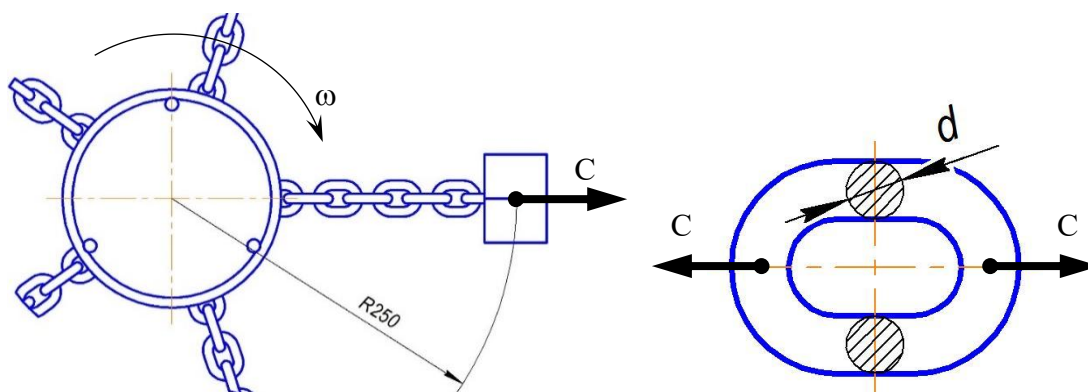


Рисунок 3.47 – Схема действия на гибкие тяги растягивающей центробежной силы

При этом оценивалась прочность гибких тяг, т.е. их способность выдерживать растягивающие усилия в течение времени работы, а также характеристики удлинения гибких тяг и работа сварных соединений при статическом нагружении центробежной силой, значительно превышающей рабочее значение.

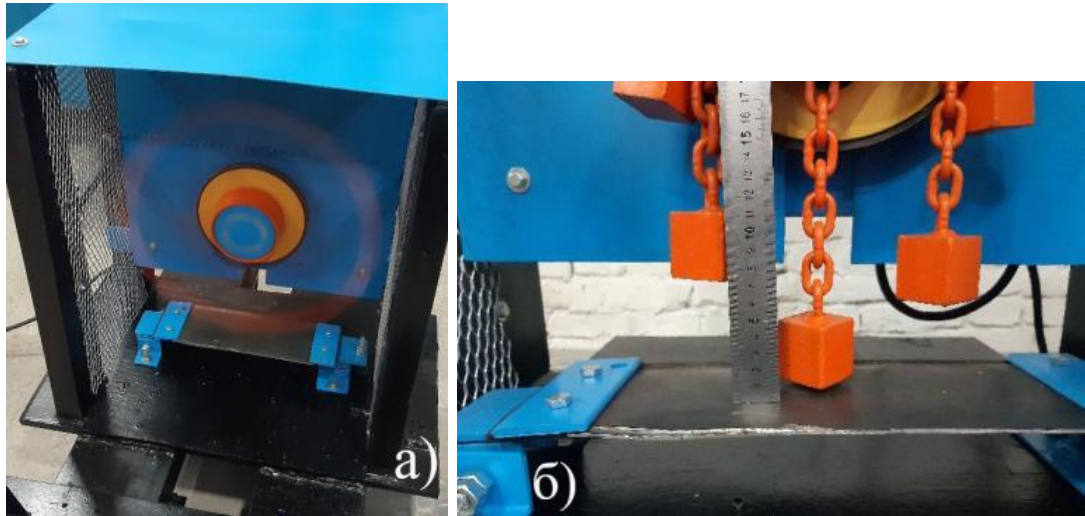


Рисунок 3.48 – Испытания гибких тяг на прочность и деформативность

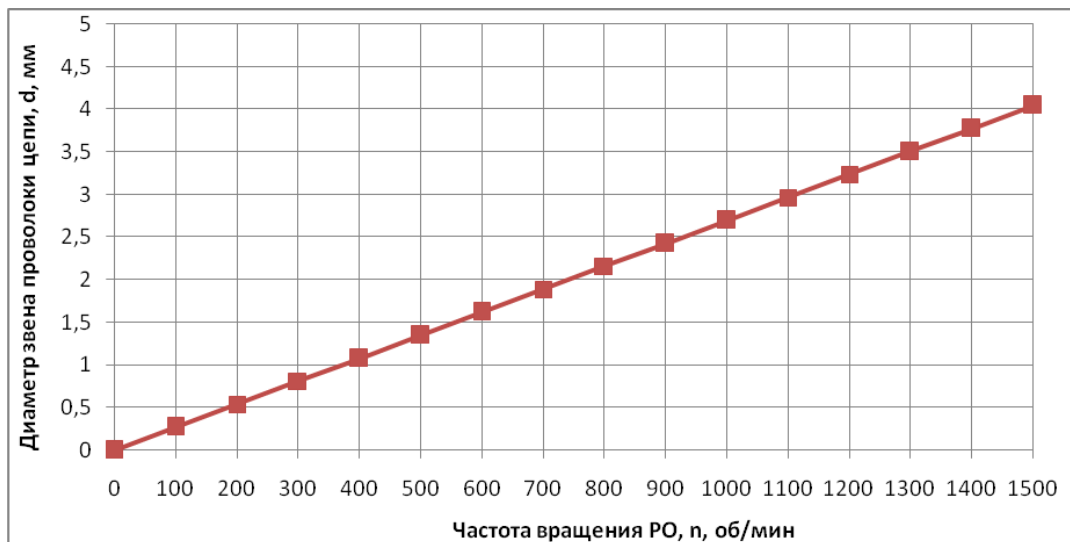


Рисунок 3.49 – Расчетная зависимость диаметра проволоки звена d от частоты вращения n РС

Испытания гибких тяг РС показали, что расчеты тяг на прочность, проведенные в ходе теоретического обоснования конструкции РС, были выполнены верно. График зависимости диаметра проволоки звена цепи d от частоты вращения n РС показан на рисунке 3.49.

Согласно результатам расчетов и графику диаметр проволоки звеньев гибких тяг (цепи) может быть не более 4 мм. Выбранная цепь с диаметром проволоки 6 мм выдерживает статические растягивающие нагрузки в течение

всего времени испытаний. Разрушений звеньев цепей гибких тяг, а также удлинения тяг не зафиксировано. Также не зафиксировано разрушения сварных соединений гибких тяг с бойками и с кольцом РС, что предварительное свидетельствует о правильности выбора технологии и способа соединения элементов РС между собой.

3.4.5 Опытная проверка РС на прочность под нагрузкой

Конструктивная прочность изделия была целью его опытной проверки на прочность под нагрузкой.

Опытная проверка РС на прочность под нагрузкой проводилась в форсированном режиме с включением критических нагрузок, больших, чем в условиях рабочей эксплуатации.

Для этого на испытательном стенде установили параметры нагружения, значительно превышающие по значениям условия нормальной эксплуатации, а именно, частоту вращения образца 1000 об/мин (частота регулятора 17,5 Гц), в два раза превышающую рабочую, максимальную жесткость подложки (при максимальном сжатии регулировочных пружин) и твердость и прочность ее материала (материал – Сталь 10 ГОСТ 1050-88). Испытание должно было продолжаться до момента отказа тест-изделия по исследуемому выходному параметру (разрушение или деформации). Отказом считали первый отказ любого элемента тест-изделия или всего изделия. При отсутствии возникновения отказа испытания продолжали до достижения определенного времени наработки, а именно, 100 часов.

При испытаниях под нагрузкой РС устанавливалась в камере на валу электродвигателя таким образом, чтобы при вращении РС в испытательном режиме обеспечивался соответствующий реальным ожидаемым условиям эксплуатации контакт ее бойков с подложкой (рисунок 3.50). Изделие выводили на рабочую частоту вращения (1000 об/мин) и вводили бойки в контакт с подложкой. Стенд с РС включался в работу на 10 часов в день, при этом периодически (через 2-4 часа работы) производились кратковременные остановки стенда для осмотра и оценки изменения состояния материалов, элементов конструкции и их соединений, проверялись целостность элементов РС и их соединений между собой, отсутствие критических деформаций элементов конструкции, проводились замеры оценочных показателей (рисунок 3.51) [98, с. 9; 104 - 109].

Форсированные испытания РС на прочность под нагрузкой показали, что все элементы конструкции выдерживают динамические ударные нагрузки в течение всего времени испытаний, демонстрируя достаточные для безотказной эксплуатации прочность и сопротивление деформациям, в том числе усталостным.

РС суммарно отработала на стенде при форсированных нагрузках 100 часов. При этом целостность элементов конструкции и соединений не пострадала, разрушений бойков, цепей гибких тяг, а также других, менее нагруженных элементов конструкции, не зафиксировано.

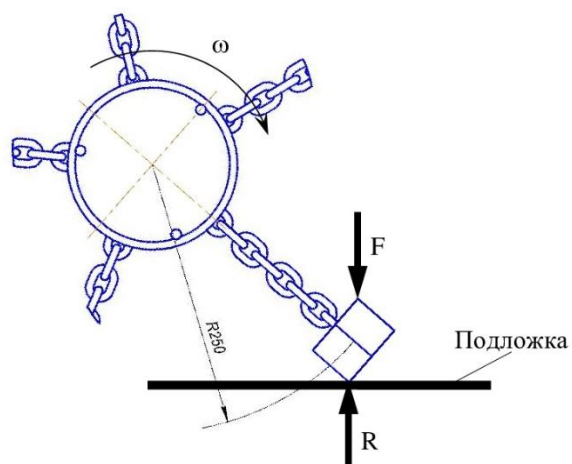
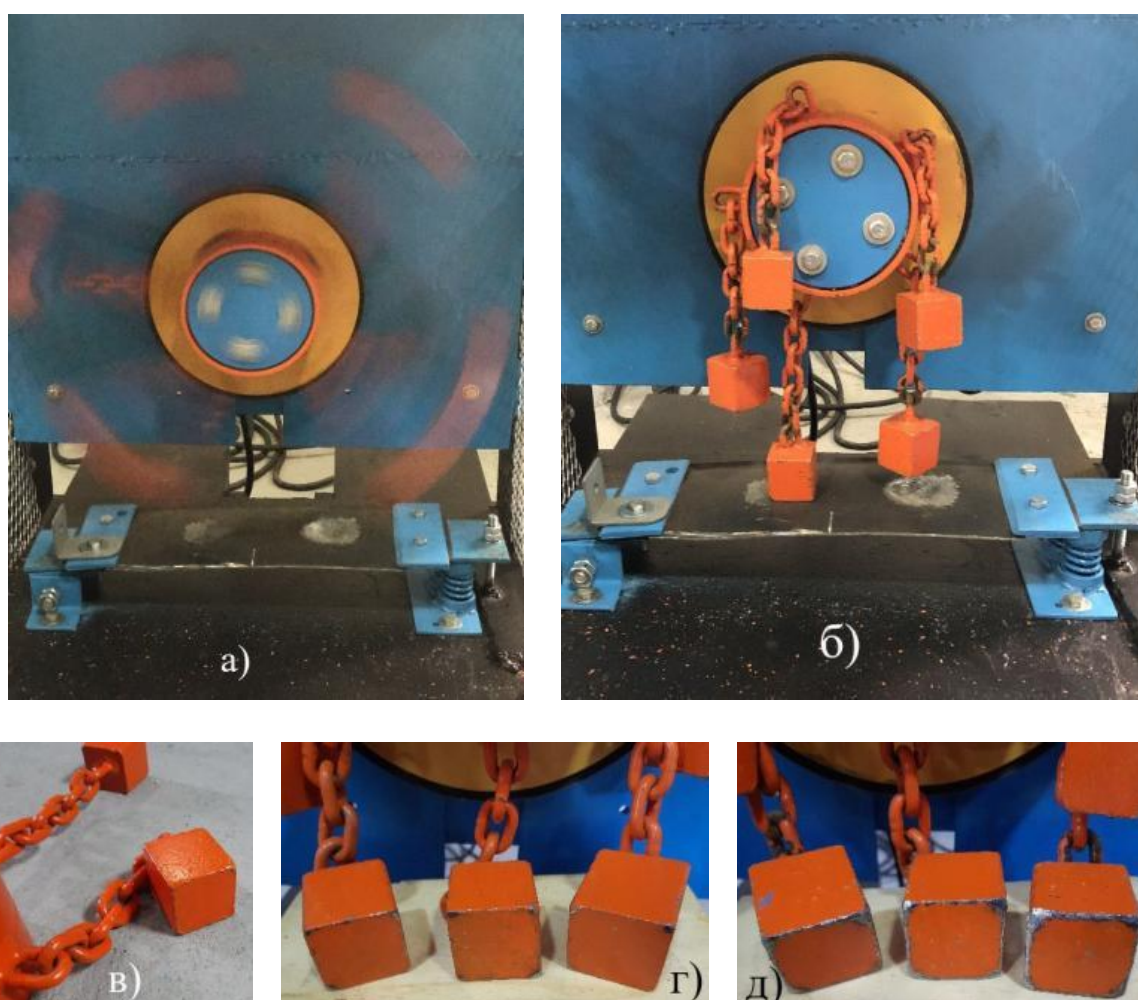


Рисунок 3.50 – Схема взаимодействия бойков РС с подвижной подложкой



а) – работа стенда при испытаниях; б) – промежуточная остановка стенда; в) - бойки перед испытаниями; г) - износ бойков через 20 часов испытаний; д) - износ бойков в конце испытаний (через 100 часов)

Рисунок 3.51 – Испытания РС на прочность

Не зафиксировано фактов разрушения или повреждения сварных

соединений гибких тяг с бойками и с кольцом РС. При этом деформации бойков в конце испытаний оказались невелики и выражаются в смятии и истирании материала бойков на ребрах и углах на величину не более 1,5 мм. При этом замечен износ подложки от контакта с бойками. Все это свидетельствует о правильности теоретического подбора и обоснования конструкции РС, технологии изготовления, материалов и конструкций деталей, технологии сборки, в частности, вида и режима термообработки бойков, способа соединения элементов РС между собой и т.д.

Таким образом, испытания на прочность полностью подтвердили теоретические предпосылки по выбору и обоснованию конструкции РС и доказали возможность и правильность применения именно такой конструкции при производстве рабочих органов ударного действия для разрушения льда.

3.4.6 Функциональные испытания РС

Функциональные испытания проводились для подтверждения того, что изделие способно выполнять свои функции с соответствующими показателями в рабочих условиях внешней среды [110].

В качестве положительного результата функциональных испытаний РС должна была продемонстрировать следующее:

- обеспечить достаточную для разрушения льда силу удара бойков;
- обеспечить разрушение льда заданной толщины на твердом основании;
- обеспечить отсутствие разрушения твердого основания.

Проверка функциональности и работоспособности РС осуществлялась как на стенде, на искусственно приготовленном льду, так и в естественных условиях на естественном ледяном покрытии на территории, прилегающей к экспериментальной лаборатории (рисунок 3.52).

Оцениваемые характеристики объекта испытаний определялись непосредственным наблюдением для фиксации момента наступления функционального отказа.

При проведении функциональных испытаний РС применяли стендовые и натурные испытания характеризующиеся нагрузками, соответствующими режиму нормальной эксплуатации. Для этого установили значение частоты вращения РС, равное 500 об/мин (частота регулятора 9 Гц), соответствующее рабочей частоте вращения навесного рабочего органа, и максимальную толщину льда до 30 мм. Испытание на стенде должно было продолжаться до момента полного разрушения льда, а в натурных условиях – в течение не менее 4 часов с перерывами на перестановку оборудования и анализ процесса разрушения льда. При функциональных испытаниях на стенде (рисунок 3.53) РС устанавливалась в камере на валу электродвигателя таким образом, чтобы при вращении РС в испытательном режиме обеспечивался соответствующий реальным ожидаемым условиям эксплуатации контакт ее бойков со слоем льда определенной толщины. Слой льда для разрушения предварительно получали путем замораживания воды, налитой слоем необходимой толщины в

специальный поддон. Были подготовлены два поддона со льдом с толщинами слоев 20 мм и 30 мм. Затем поддон со льдом устанавливалась на место демонтированной подложки в рабочую камеру стенда (рисунок 3.53).

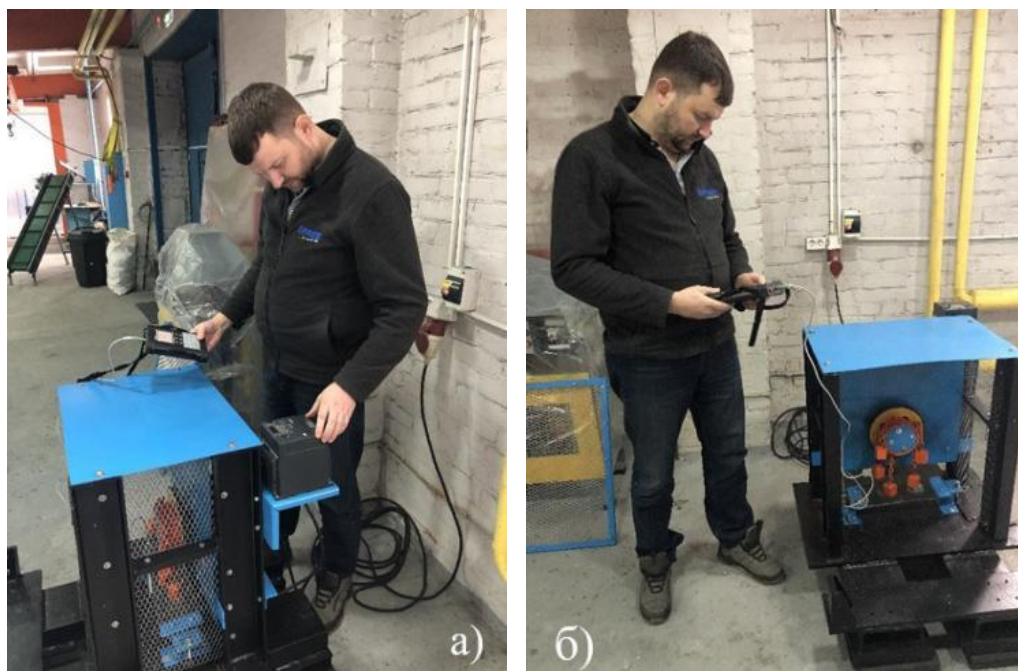
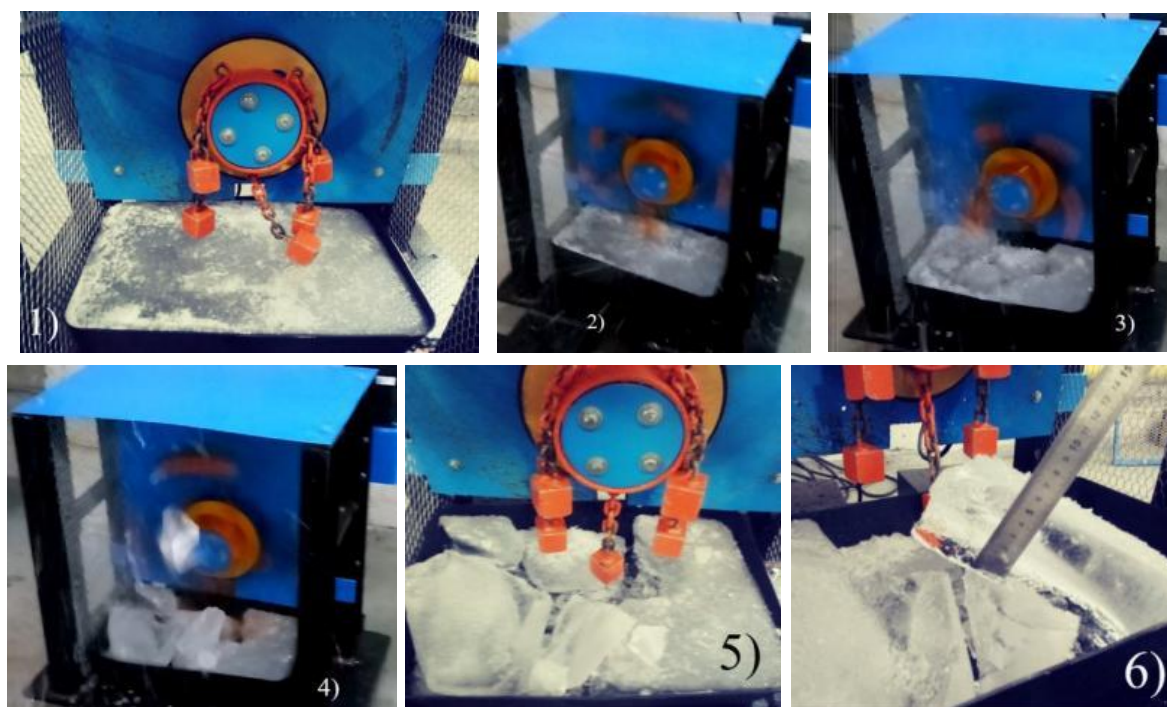
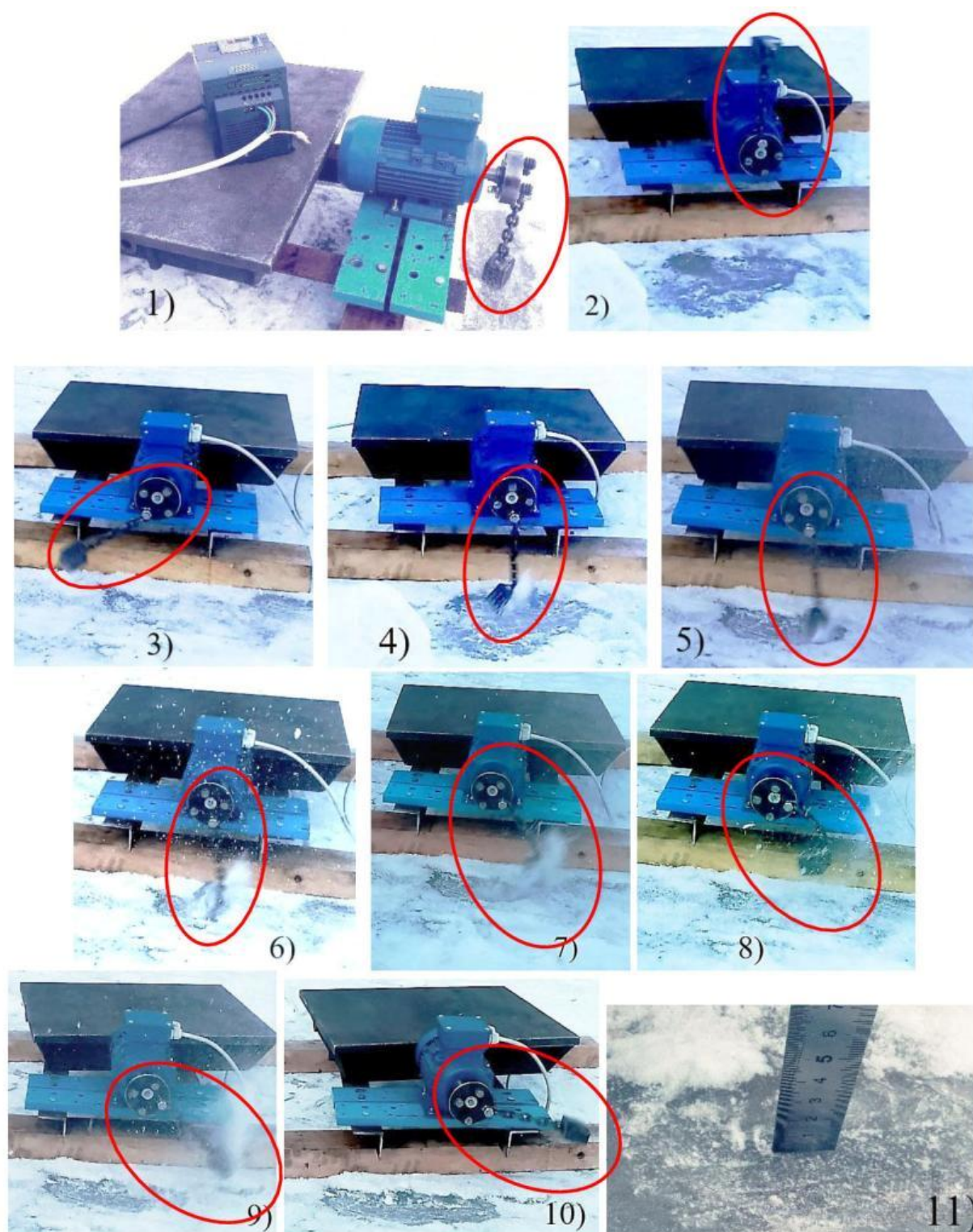


Рисунок 3.52 - Установка и тарировка контрольных датчиков на стенде



1 – 6 – этапы работы стенда

Рисунок 3.53 – Функциональные испытания РС на стенде в цехе



1 - общий вид стенда для натурных испытаний; 2 – 10 – этапы работы стенда;
11 - измерение толщины разрушенного льда

Рисунок 3.54 – Функциональные испытания РС на стенде в естественных условиях

РС выводили на рабочую частоту вращения (500 об/мин) и вводили бойки в контакт со льдом и наблюдали за процессом разрушения льда в поддоне, визуально оценивая его эффективность. Эффективность процесса оценивалась по тому, разрушается лед под ударами бойков, или нет, на какую глубину происходит разрушение и имеется ли повреждение основания поддона от контакта с бойками.

Для проведения функциональных натурных испытаний был изготовлен имитационный стенд для испытаний РС на естественном ледяном покрытии (рисунок 3.54) и модель РС с одним бойком для обеспечения возможности оценки эффективности воздействия на лед каждого отдельного бойка.

РС с одним бойком устанавливалась на валу электродвигателя стенда. Слой льда на асфальтобетонном покрытии дороги образовался естественным путем при низких температурах уличного воздуха в зимний период. Была измерена толщина слоя естественного льда, которая варьировалась в пределах от 10 до 25 мм. РС выводили на рабочую частоту вращения (500 об/мин) и вводили боек в контакт со льдом и наблюдали за процессом разрушения льда, визуально оценивая его эффективность. Эффективность процесса оценивалась по тому, разрушается лед под ударами бойка, или нет, на какую глубину происходит разрушение и имеется ли повреждение покрытия дороги от контакта с бойком.

Функциональные стендовые и натурные испытания РС во всех случаях показали, что конструкция демонстрирует хорошую функциональность и работоспособность, обеспечивая достаточную для разрушения льда силу удара бойков в течение всего времени испытаний, как при стендовых, так и при натурных испытаниях, обеспечивает эффективное разрушение льда толщиной до 30 мм, что достаточно для эффективной эксплуатации, при этом твердое основание (покрытие дороги) под слоем льда не повреждается. При испытаниях также не зафиксировано разрушения бойков, цепей гибких тяг или других элементов конструкции, в том числе сварных соединений, а также деформаций бойков. Это еще раз подтверждает правильность подбора материалов, конструкции и технологии изготовления РС.

Таким образом, стендовые и натурные функциональные испытания полностью подтвердили теоретические предпосылки по эффективности функционирования и работоспособности конструкции РС и доказали возможность и правильность применения в эксплуатации для разрушения льда именно такой конструкции РС.

3.4.7 Испытания на ресурс

Так как РС подвержены заметному износу, ухудшению параметров, усталости материалов вследствие внешних нагрузок, они должны пройти испытания на ресурс [110, с. 3-12; 111; 112] в условиях, характерных для их предполагаемого использования.

Испытания на ресурс (долговечность) проводят путем экспериментального определения зависимости срока службы от значений

основных воздействующих внешних факторов.

При стендовых ресурсных форсированных испытаниях ставится задача выяснить за разумное время лабораторных испытаний способность изделия работать в нормальных эксплуатационных условиях в течение требуемого срока эксплуатации (времени работы), за который было принято ориентировочное количество часов работы навесного рабочего органа для разрушения льда в течение сезона эксплуатации, составляющее 250-300 часов.

При испытании изделия для сокращения времени испытаний применялось уплотнение рабочих циклов, предусматривающее сокращение или устранение перерывов в работе и простоев. Также было использовано учащение рабочих циклов, заключающееся в увеличении частоты циклического нагружения испытываемого элемента изделия [113, 114].

Испытания на ресурс проводились с упором на доминирующие факторы ухудшения параметров - жесткость и твердость материала поверхности подложки, сила и частота ударов бойков.

Определялось время работы (наработка) изделия до проявления критерия отказа, а именно, выхода из строя (разрушения) любого из элементов конструкции или накопления предельного износа бойков, либо, при отсутствии проявлений критериев отказа, до достижения заданного времени наработки (не менее 300 часов).

Положительным результатом испытаний являлось достижение изделием ресурса (наработки до перехода в предельное состояние) не менее 300 часов.

Значения параметров нагружения тест-изделия установили с превышением значений нормальной эксплуатации, а именно, частоту вращения РС - 750 об/мин (частота регулятора 13 Гц), т.е. в 1,5 раза превышающую рабочую для учащения рабочих циклов, жесткость подложки установили меньше, чем при испытаниях на прочность, за счет уменьшения сжатия регулировочных пружин, чем обеспечили упругие перемещения подложки при ударах по ней бойков, что имитирует упругие свойства льда, но с повышенной, по сравнению со льдом, упругостью, твердость и прочность материала подложки (материал – сталь 10 ГОСТ 1050-88) оставили существенно превосходящей твердость льда.

При испытаниях на ресурс РС устанавливалась в камере на валу электродвигателя таким образом, чтобы при вращении РС в испытательном режиме обеспечивался соответствующий контакт ее бойков с подложкой (рисунок 3.55). Изделие выводили на рабочую частоту вращения (1000 об/мин) и вводили бойки в контакт с подложкой. Стенд с РС включался в работу на 10 часов в день. РС подвергалась осмотру на предмет выявления любых отклонений от нормы и оценки изменения состояния материалов, элементов конструкции и их соединений по окончании дневного цикла работы.

Одним из параметров, фиксируемых при испытаниях на ресурс, являлся износ наиболее нагруженных элементов РС - бойков, по которому оценивалась их способность сопротивляться изнашиванию. Износ определялся по результатам измерения возможного уменьшения размеров бойков и

возможного уменьшения их веса.

Также проводилась проверка качества сборки РС, которая осуществлялась путем визуального осмотра и оценки состояния и текущего качества соединений элементов РС между собой.

В итоге тест-изделие при форсированных испытаниях на ресурс отработало циклами по 10 часов с перерывами (от 0,5 до 2 суток) суммарно 200 часов, так как иных причин для досрочного прекращения испытаний выявлено не было. Это в совокупности с временем прочностных испытаний дало полный требуемый срок наработки (300 часов).

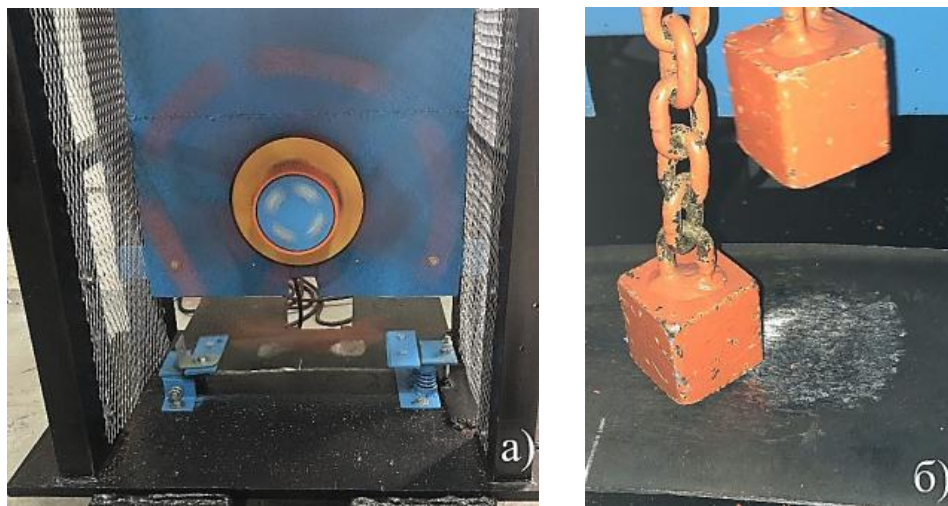


Рисунок 3.55 – Испытания РС на ресурс

Испытания РС показали, что все элементы конструкции выдержали внешние форсированные нагрузки в течение всего времени испытаний, продемонстрировав достаточную для длительной эксплуатации наработку (300 часов). При этом целостность элементов конструкции и соединений не пострадала, разрушений бойков, цепей гибких тяг, а также других, элементов конструкции не зафиксировано, как и разрушения или повреждения сварных соединений. Деформации и износ бойков и звеньев гибких тяг оказались невелики. За время испытаний (300 ч) размеры бойков практически не изменились, а вес бойков уменьшился в среднем с - 450 г до 440 г, что составляет 2% от начального веса бойка; диаметр проволоки звеньев гибких тяг в местах их соединений уменьшился в среднем с - 6 мм до 5,9 мм, что составляет 1,7%) и не превысили величины, критической для нарушения или ухудшения функциональности и надежности изделия. Все это свидетельствует о правильности результатов теоретического обоснования конструкции и технологии изготовления РС.

Таким образом, результаты испытаний на ресурс также подтверждают теоретические предпосылки по выбору и обоснованию конструкции РС и доказывают необходимость применения именно такой конструкции и технологии ее изготовления при производстве рабочих органов ударного действия для разрушения льда.

3.5 Сравнительные испытания различных конструкций РС на надежность, выявление их недостатков

На практике причиной ненадежности и выхода РС из строя с большой вероятностью может быть не поломка деталей, а разрушение соединений деталей между собой, и прежде всего, соединений бойков с гибкими тягами, как наиболее страдающих от действия динамически ударных нагрузок

В результате теоретических исследований было разработано несколько, как разъемных, так и неразъемных конструкций соединения бойков с гибкими тягами.

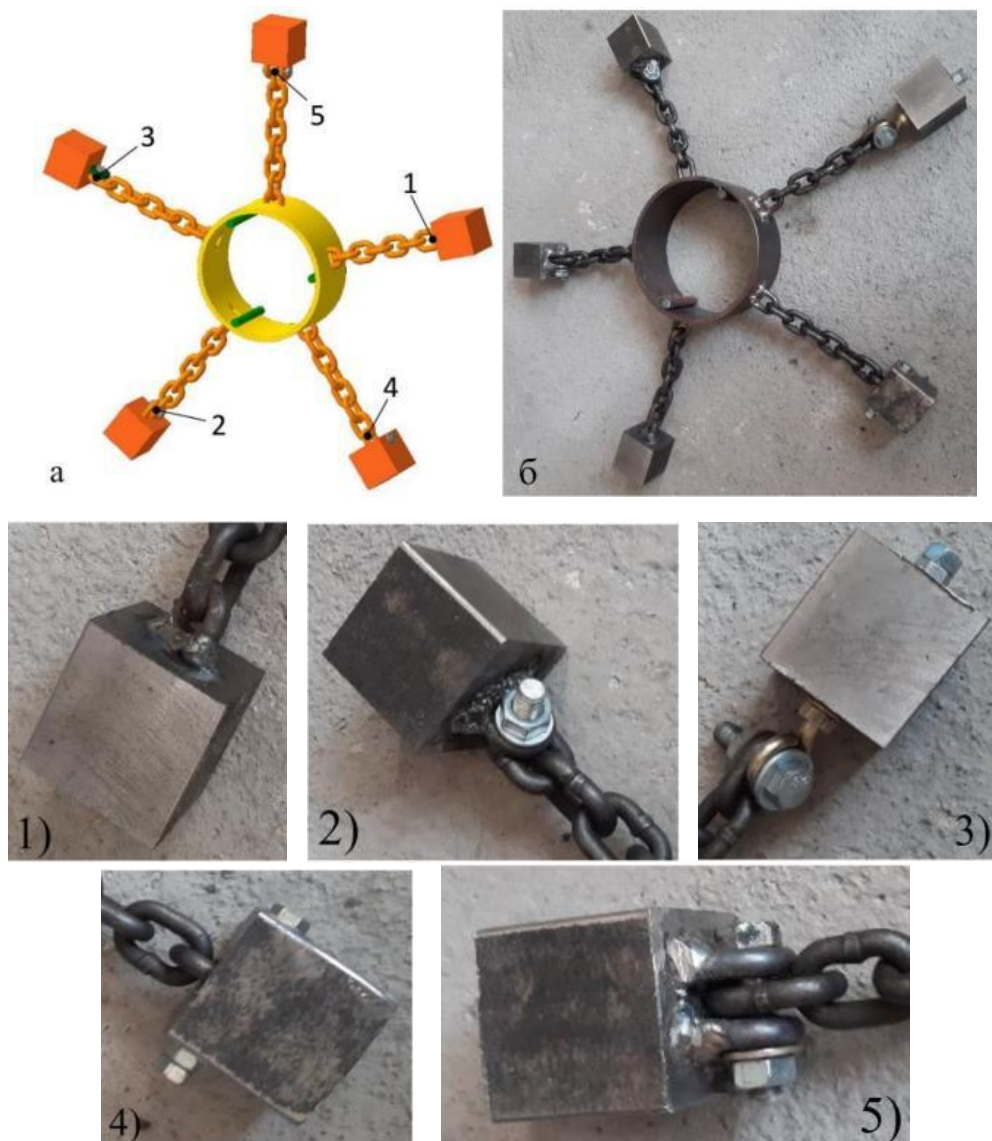
Для проверки и сравнения по показателям качества и надежности различных конструктивных вариантов соединений бойков с гибкими тягами было проведено одновременное стендовое форсированное испытание нескольких конструктивных решений [104, с. 61-112; 111, с. 3-10].

Объектом испытаний являлась РС (рисунок 3.56), на которой были установлены бойки, соединенные с гибкими тягами пятью разными способами (по количеству гибких тяг с бойками на одной РС), из которых четыре были разъемными, с соединением тяги с бойком с помощью пальца, а один – неразъемный, с соединением сваркой, как у тест-изделия, испытанного ранее (таблица 3.13). В остальном тест-изделие имело ту же конструкцию и те же характеристики, что и РС, подвергавшаяся испытаниям на прочность, ресурс и функциональность и те же, что и продукция, запускаемая в производство.

При проведении сравнительных испытаний соединений РС на надежность под нагрузкой применяли форсированный режим испытаний. Для этого на испытательном стенде установили параметры нагружения, превышающие по значениям условия нормальной эксплуатации, а именно, частоту вращения образца 1000 об/мин (частота регулятора 17,5 Гц), в два раза превышающую рабочую, среднюю жесткость подложки (при средней величине сжатии регулировочных пружин и возможности перемещение подложки при ударах) и высокую твердость и прочность ее материала (материал – Сталь 10 ГОСТ 1050-88).

Испытание должно было продолжаться до момента наступления отказа тест-изделия по исследуемому выходному параметру (разрушение или повреждение любого из соединений). Отказом считали первый отказ любого элемента тест-изделия или всего изделия. При отсутствии возникновения отказа испытания продолжали до достижения определенного времени наработки, а именно, 50 часов.

При испытаниях РС устанавливалась в камере на валу электродвигателя таким образом, чтобы при вращении РС в испытательном режиме обеспечивался соответствующий контакт ее бойков с подпружиненной подложкой (рисунок 3.57).



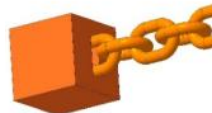
а) и б) рабочая секция (РС); 1 – 5 – номера соединений из таблицы 3.13

Рисунок 3.56– 3D - модель и тест-изделие РС для сравнительных испытаний соединений бойков с гибкими тягами

Изделие выводили на рабочую частоту вращения (1000 об/мин) и вводили бойки в контакт с подложкой. Стенд с РС работал 8 часов в день, при этом периодически (через 2 часа работы) производились кратковременные остановки стенда при которых производился осмотр и оценка изменения состояния элементов конструкций и их соединений, проверялись целостность элементов РС и их соединений между собой.

Сравнительные форсированные испытания на надежность различных конструкций соединений бойков РС с гибкими тягами показали, что наиболее надежным является неразъемное сварное соединение бойков с гибкими тягами, т.к. неразъемная (сварная) конструкция соединения выдержала динамические ударные нагрузки в течение всего времени испытаний (50 часов) без разрушения или повреждения.

Таблица 3.13 – Способы соединения бойка с тягой

Номер соединения на рисунке	Описание соединения	Схема соединения
1	Неразъемное (сварное) соединение звена цепи - тяги с пазом бойка-ударника	
2	Разъемное соединение звена цепи в виде проушины бойка, с тяговой цепью, при помощи пальца	
3	Разъемное соединение бойка с тяговой цепью при помощи пальца и проушины из откидного болта	
4	Разъемное соединение бойка с тяговой цепью при помощи пальца, монтируемого в паз - проушину	
5	Разъемное соединение бойка с тяговой цепью при помощи пальца и двух проушин из звеньев цепи	

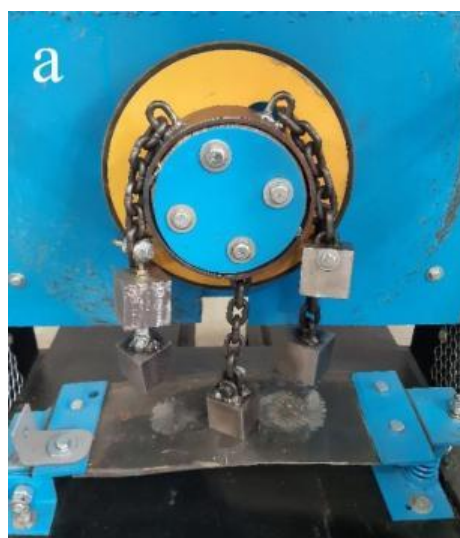


Рисунок 3.57 – Сравнительные испытания соединений РС на надежность

В то время как целостность разъемных конструкций соединений пострадала. В общем для разъемных конструкций зафиксированы различные деформации, критическое ослабление и разъединение резьбовых соединений, смятие контактных поверхностей пальцев и др. (рисунок 3.58, 3.59). То есть разъемные соединения проигрывают по надежности неразъемному сварному соединению бойков с тягами.

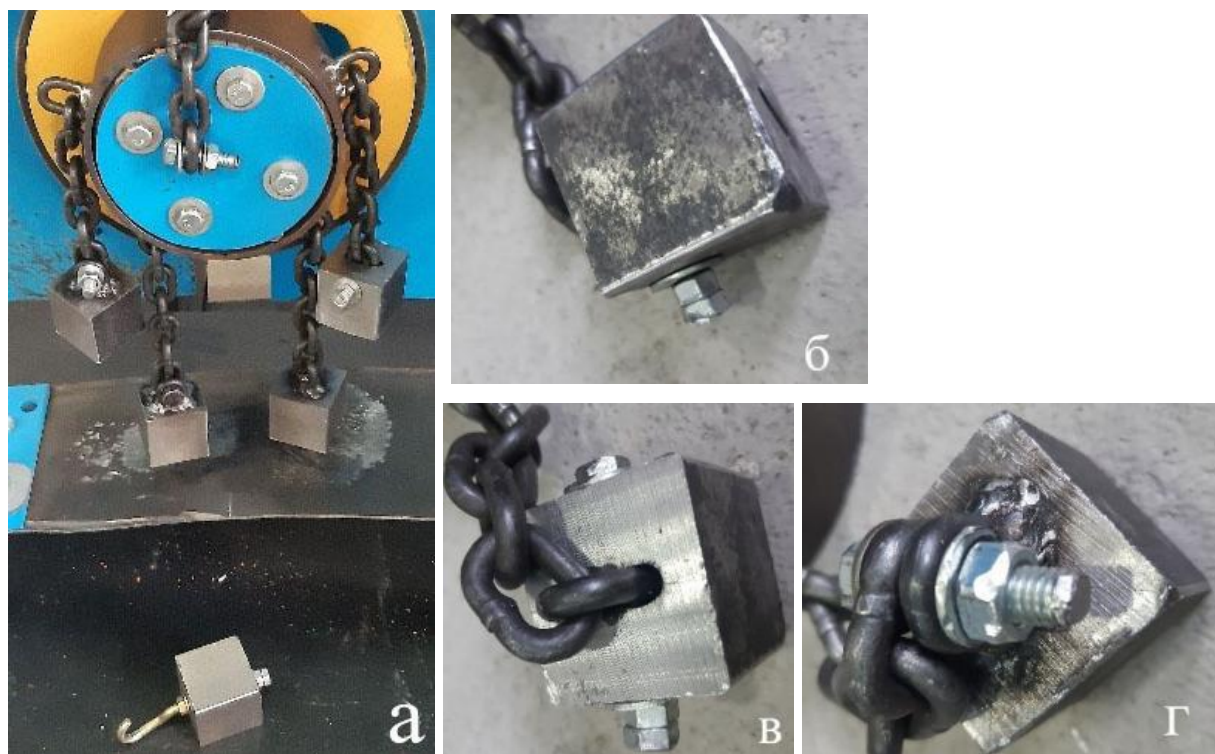


Рисунок 3.58 – Повреждения разъемных соединений бойков с гибкими тягами в результате испытаний

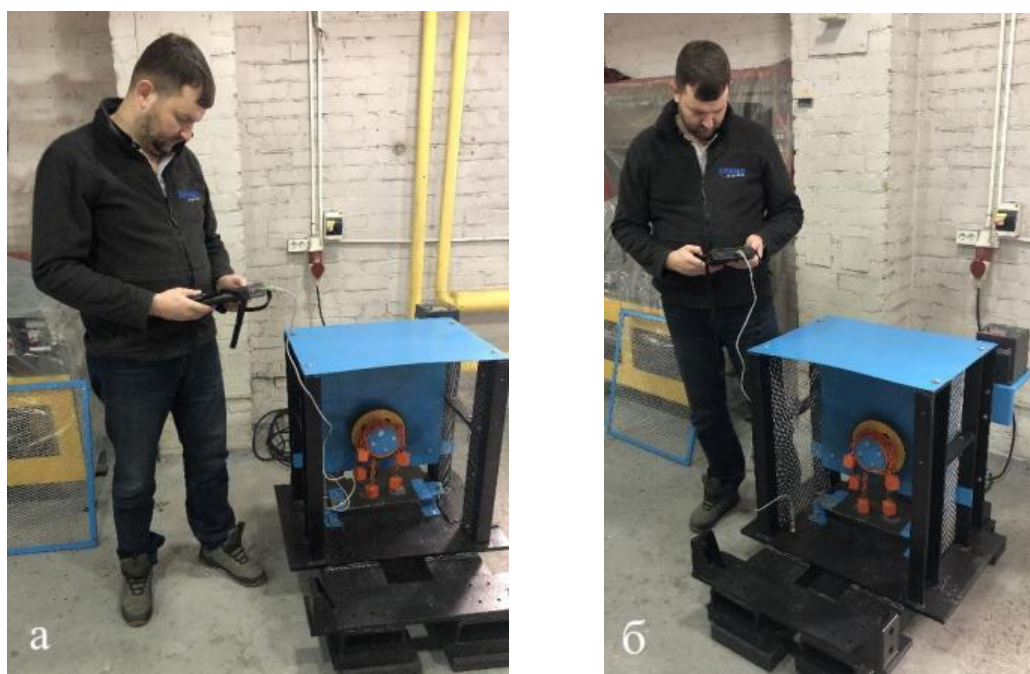


Рисунок 3.59 – Фиксирование параметров эксперимента

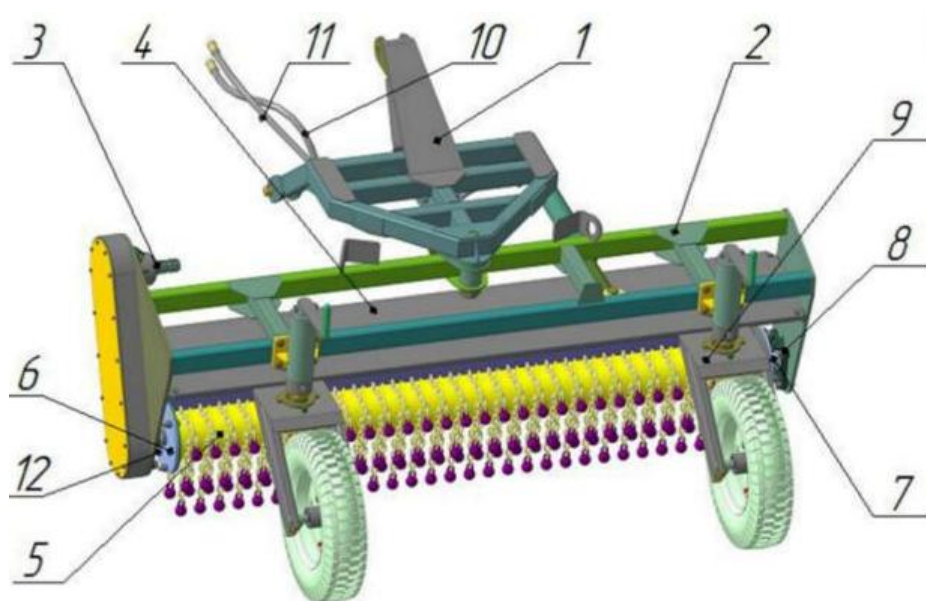
Результаты сравнительных испытаний свидетельствуют о правильности теоретического подбора и обоснования неразъемной (сварной) конструкции соединения бойков РС с гибкими тягами, а также способа выполнения

сварного соединения бойков с тягами.

Таким образом, сравнительные испытания соединений РС на надежность полностью подтвердили теоретические предпосылки по выбору и обоснованию конструкции РС и доказали возможность и правильность применения именно такой конструкции при производстве рабочих органов ударного действия для разрушения льда.

3.6 Натурные экспериментальные исследования навесного рабочего оборудования льдоскалывателя со сферическими бойками

В связи с тем, что разрабатываемое оборудование для зимнего содержания дорог и тротуаров предполагается использовать как навесное оборудование, принято решение выбрать в качестве основной базовой машины трактор МТЗ-82, как самой распространенной базовой машины коммунальных служб города, на которую навешивается коммунальная щетка для летнего и зимнего содержания дорог и городских территорий, а крепление и привод коммунальной щетки - как основное крепление и привод вновь разрабатываемого оборудования. Таким образом, внешними параметрами льдоуборочной машины являются параметры навесной коммунальной щетки, так как привод льдоуборочной машины совпадает с приводом коммунальной щетки МКЩ-1,5-4 (рисунок 3.60). На базовую машину льдоскалыватель навешивался на штатное крепление (рисунок 3.61) [115].



1 - навеска, 2 - рама, 3 - узел приводной звездочки, 4 - козырёк, 5 - рабочий орган льдоскалывателя, приводной 6 и опорный 7 фланцы, 9 - колеса в сборе

Рисунок 3.60 - Льдоскалыватель навесной, без привода от ВОМ трактора

Также предлагается использовать конструкцию коммунальной щетки как основу для поэтапной модернизации и сезонную замену ее щеточного оборудования на вновь создаваемые образцы рабочих органов для зимнего

содержания дорог и тротуаров. Практически вся конструкция коммунальной щетки применялась в эксперименте без переделки или модернизации. Полностью заменялись щеточные секции (рисунок 3.62) на съемные секции с инерционными бойками, которые одевались на тот же вал привода и фиксировались опорным фланцем.

Высота положения рабочего органа регулировалась в зависимости от длины гибкой связи и заранее выставлялась так, чтобы бойки заглублялись на заданную глубину, для которой рассчитывалась скорость передвижения базовой машины и частота вращения приводного вала от ВОМ трактора.

Экспериментальные исследования взаимодействия специального щеточного рабочего органа ударного действия со льдом и снежным накатом проводились в зимний период 2020-2022 годов. Эти испытания проводились на физических моделях и на натурных щеточных элементах рабочих органов, специально изготовленных для этих экспериментов, рисунок 3.56, 3.58.

Кроме того, в эксперименте были использованы наработки и оборудование, полученные и опубликованные в результате предыдущих поисковых испытаний льдоуборочных машин (Приложение В).

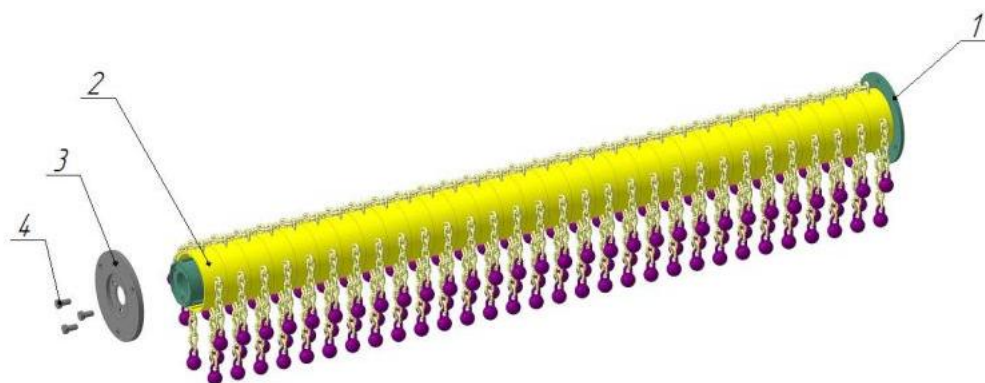


Рисунок 3.61 - Крепление и привод навесного оборудования на базовый трактор МТЗ-82

Льдоскалывающее оборудование разрабатывалось сразу как натурное, так как были известны все габариты и другие параметры навесного натурального рабочего органа – коммунальной щетки с механическим приводом.

Экспериментальные исследования выполнялись в соответствии с разработанными для их проведения программой и методиками.

Метеорологические условия, предшествующие испытаниям, были различны. В связи с температурными скачками погодные условия во время опытов были стабильными, но разными.



1 – вал; 2 – диск; 3 – фланец прижимной; 4 – болт.

Рисунок 3.62 – Рабочий орган льдоскалывателя, собранный без промежуточных колец, в свободном, нерабочем состоянии:

Чтобы исключить среднестатистическую непоправимую ошибку, согласно методике, опыты повторялись на наиболее схожих по покрытию площадках в 3-4 захода.

Для экспериментальных исследований коммунальный щеточный рабочий орган был переоборудован в льдоскалыватель путем нехитрого перемонтажа и добавления инерционной массы в виде различной формы колющих и скалывающих бойков на промышленную секцию щеточного органа (рисунок 3.63) [73, с. 8-36; 96, с. 356-358; 115, с. 3-14].

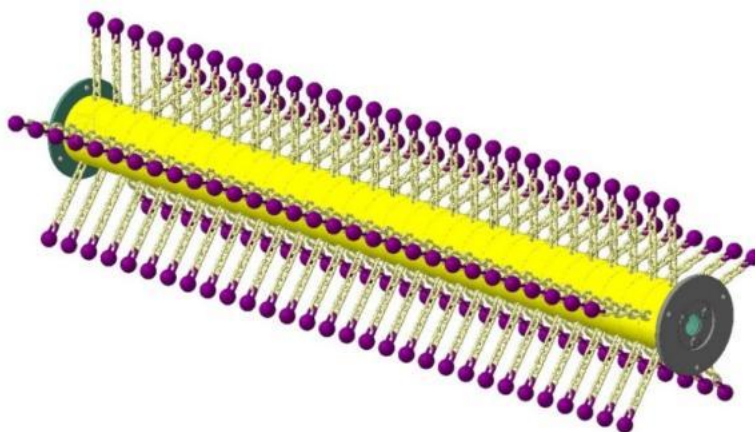


Рисунок 3.63 - Вариант комплектации рабочего органа льдоскалывателя съемными дисками со сферическими бойками-ударниками в 5 рядов бойков

На рисунках 3.62 - 3.67 показаны специальные рабочие органы ударного действия, представляющие собой щетку, содержащую, кроме обычных наборных дисков с ворсом, наборные диски с установленными на них клиновидными или цилиндрическими бойками на гибкой связи [96, с.356-358].

Причем, если клиновидные бойки наваривались на отдельный металлический тросик, установленный между ворсом, то на первом этапе эксперимента цилиндрические бойки устанавливались прямо на существующий ворс щетки (рисунок 3.64).

Бойки были изготовлены из инструментальной стали У8А, с последующей закалкой до 55 HRC. Гибкая связь была выполнена из проволоки рессорно-пружинной стали.

Частота вращения уборочной щетки с механическим приводом достигала допустимые для данной модели 840 об/мин.

Экспериментальные исследования ледяного покрова, как разрабатываемой среды, заключалось в определении статистических характеристик толщин обледенения дорог в пределах г. Усть-Каменогорска, а также на его тротуарах и площадях (Приложение Г).

Общий подход к экспериментальным испытаниям состоял в нахождении значения усилия разрушения ледяного покрытия, возникающего на разработанном рабочем оборудовании инерционно-ударного действия в совокупности для разных технологий разбивания ледяного покрытия, так как измерить величины нагрузки на одиночном сменном сегменте рабочего оборудования представляется проблематичным [97, с. 258-267; 116, 117].

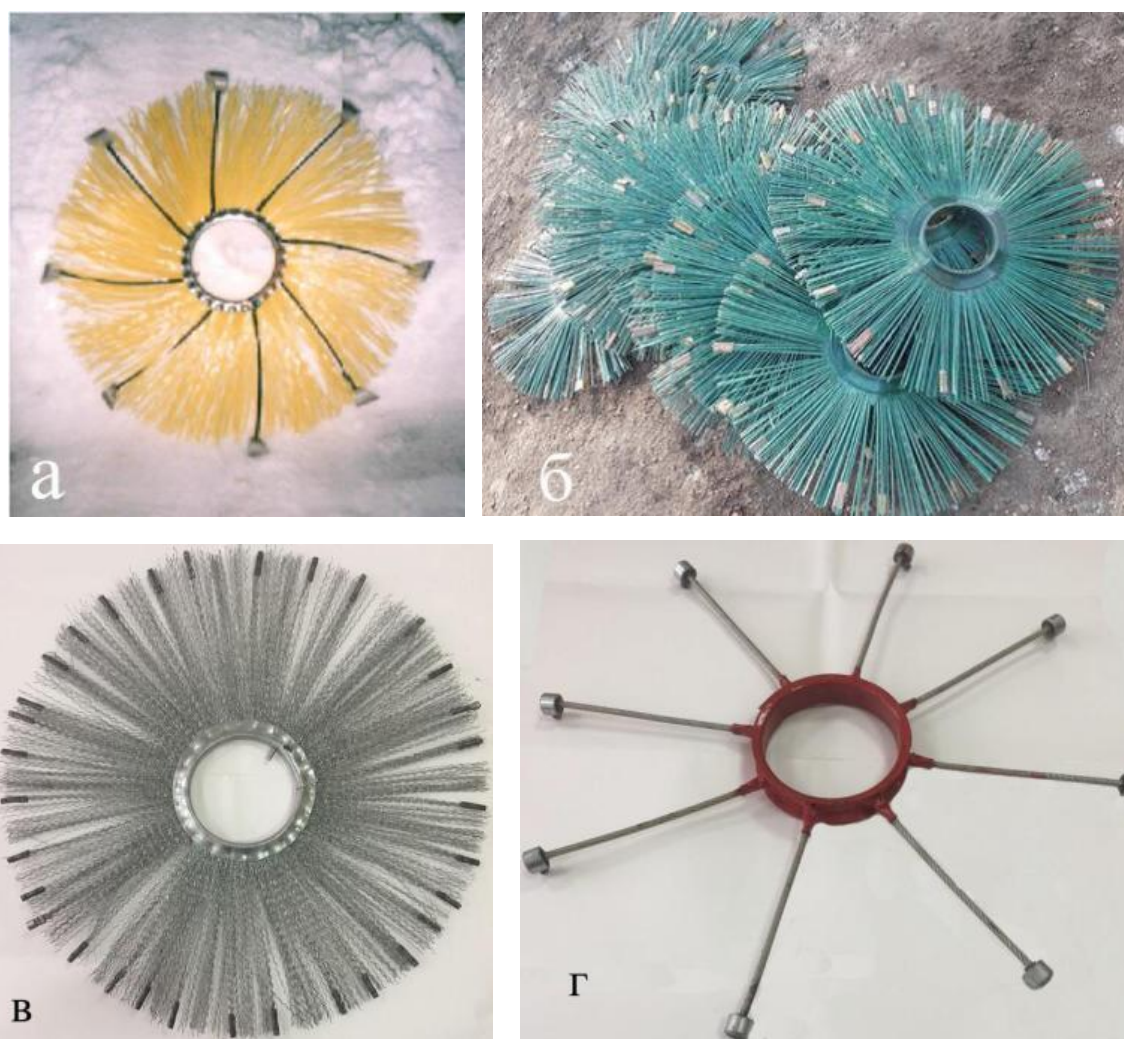


Рисунок 3.64 – Вариации изготовления рабочих секций ударного льдоскалывателя с различными бойками: а) косоугольными, б, в – легкими, цилиндрическими, г – тяжелыми, бочкообразными

При соприкосновении рабочего оборудования с ледяным покрытием определялись вертикальная и горизонтальная реакции на рабочем оборудовании, а вместе с ними и величина деформации ледяного покрова.

Детали конструкции рабочего оборудования в различных случаях статически нагружались при помощи соответствующего домкрата, действующего вдоль горизонтального вала привода инерционного ротора.

Креплением грузов определенной массы вдоль вертикальной оси вала привода рабочего оборудования имитировалось вертикальное усилие.



Рисунок 3.65 – Набор различных рабочих секций льдоскалывателя, смонтированных как комбинированный рабочий орган



Рисунок 3.66 – Дробяще-сметающий набор рабочих секций навесного льдоскалывателя в сборе

Натяжением троса, натянутого на уровне верхних граней бойков, осуществлялось нагрузка рабочего оборудования крутящим моментом.

Толщина ледового покрытия замерялась электронным штангенциркулем как в ходе опытов, так и перед их проведением, при нахождении средней толщины намерзшего на дороге льда [118].



Рисунок 3.67 - Чередование рабочих секций с ударными сферическими элементами и сметающими сегментами

Опытные замеры осуществлялись при разных погодных условиях зимних месяцев и при разном состоянии ледового покрытия на поверхностях автодорог, тротуаров и других территорий города Усть-Каменогорска.

Ярко выраженные отклонения температурного режима во время проводимых опытов фиксировались с декабря по февраль 2020 и 2021 года, и могли отличаться на протяжении 3-х дней перепадами в 15 – 20 градусов Цельсия.

Если в ноябре и декабре температура была ниже обычной на 5...10 градусов, то в январе-феврале температура редко опускалась ниже -20°C .

Зима была малоснежная, за исключением 3-х снегопадов в феврале, и достаточно суровая. Среднемесячные температуры декабря, января и февраля после относительно теплого климата, в среднем достигали -20°C . Высота снежного покрова на момент начала таяния составляла 0,25-0,35 метра. С середины января и весь февраль наблюдалась довольно низкая средняя температура для этого времени ($20...25^{\circ}\text{C}$ ниже нуля) с небольшим количеством осадков. Снегопады наблюдались в феврале. Высота снежного покрова на начало таяния в Восточно-Казахстанской области составляла 0,4...0,6 метра на ровных участках.

Разрушаемый ледовый покров полностью был естественного происхождения, но различного возраста, структуры и температуры.

Так получилось, что проводимые опыты постоянно подпитывались новыми СЛЮ, образуемыми в результате погодных перепадов и перемешивающихся снегопадов, таяния и заморозков.

Некоторые участки были готовы к проведению на них повторных опытов уже через 3 дня после исследования.

Все опыты проводились за одну смену, чаще в дообеденное время, наиболее стабильное с точки зрения состояния СЛЮ. По площади участков для опытов старались находить примерно одинаковые площадки примерно 200×5 метров, на трассах обледенелых участков больше, но возникают проблемы с огораживанием площадки для предотвращения возможного заезда автомобилей, иногда участки дорог для опытов составляли полосу 300×6 метров. Средняя точность показаний достигалась пяти-, шестикратным проведением опытов, что одновременно снижало искажение результатов от случайных погрешностей.

Важным показателем экспериментов было получение опытных значений силы удара бойков, которая действовала и на разрушаемый лед, и на детали инерционно-ударного рабочего оборудования. Фиксация значений силы удара происходила на основе сигналов тензодатчиков, закрепленных на раме, бойках, элементах крепления и вращающихся валах. Показатели заносились в таблицу и по известной методике сравнивались с теоретическими данными.

Для учета равномерного перекатывания ходовой части инерционно-ударного рабочего оборудования, а также предотвращения буксования самой льдоуборочной машины, измерялся коэффициент сцепления колес с очищаемой поверхностью дороги.

Необходимая нагрузка на элементы рабочего оборудования обеспечивалась непосредственным управлением льдоуборочной техники.

В качестве приводного вала инерционно-ударного рабочего органа при проведении экспериментальной части работы, использовались приводные валы стандартной коммунальной щетки, на которые устанавливались различные наборные диски с бойками совместно с обычными дисками щеточного рабочего органа (рисунки 3.64 – 3.68). В свою очередь, приводные валы выбирались и в зависимости от длины гибкой связи инерционно-ударного рабочего оборудования.

Длина гибкой связи, с учетом крепления бойка, соответствовала длинам ворса существующих щеточных секций щетки коммунальной.

Перед проведением экспериментов проверялась работоспособность всех контрольных датчиков и аппаратуры фиксирования их показаний. Не перемещая базовую машину, на месте, максимально нагружался льдоскалыватель прижимающим усилием и скоростью вращения приводного вала. В этом режиме проверялась работоспособность регистрирующих приборов и датчиков. При зашкаливании показателей датчиков их чувствительность корректировалась путем применения возможностей обрабатывающей программы ПК, после чего корректировалась рациональная рабочая скорость льдоскалывателя и частота вращения вала привода, для проверки зависимости разрушающей силы от скорости вращения приводного вала рабочих секций с инерционными бойками (рисунок 3.68).

Испытания опытно-промышленного образца (ОПО) проводились на обледенелых участках действующих дорог, с поверхностью 200×5 метров.

В случаях определения производительности льдоуборочной машины длина очищаемых участков увеличивалась до полосы с размерами 1000×5 метров.

Длина тротуаров составляла 50...100 метров, при ширине 1,5 м. Для уменьшения влияния случайных погрешностей на результаты экспериментов, проводимых к тому же при минусовой температуре, опыты повторялись 5-6 раз с переездом на новый участок, что повышало точность эксперимента.

Одновременно выполнялись измерения необходимых физических параметров ледового покрытия, и фиксировалось изменение температуры опытов и льда, адгезии с дорожной поверхностью, средней толщины ледового налета и его прочности.

Высотные и прочностные параметры ледяного покрова выбирались примерно одинаковыми для каждой серии опытов, затем переходили с поправочным размерным шагом к другой серии.

Разрушение ледового покрытия фиксировалось в 10-20 точках для получения более полной картины процесса (рисунок 3.68).

Работу по разрушению льда щеточным рабочим органом с инерционными вставками можно визуальнo оценить на рисунке 3.69.

Следует отметить, что важнейшим параметром, характеризующим процесс удаления льда с поверхности дорог, тротуаров и других городских территорий является величина затрат энергии на осуществление данного процесса [119].

На рисунке 3.70 показана зависимость изменения мощности разработки от толщины ледяного покрова.



Рисунок 3.68 – Фрагмент работы инерционно-ударного рабочего оборудования по разрушению СЛО и ледяного покрытия дорог



Рисунок 3.69 - Участок автомобильной дороги, покрытый льдом и СЛО, после прохода льдоскалывателя

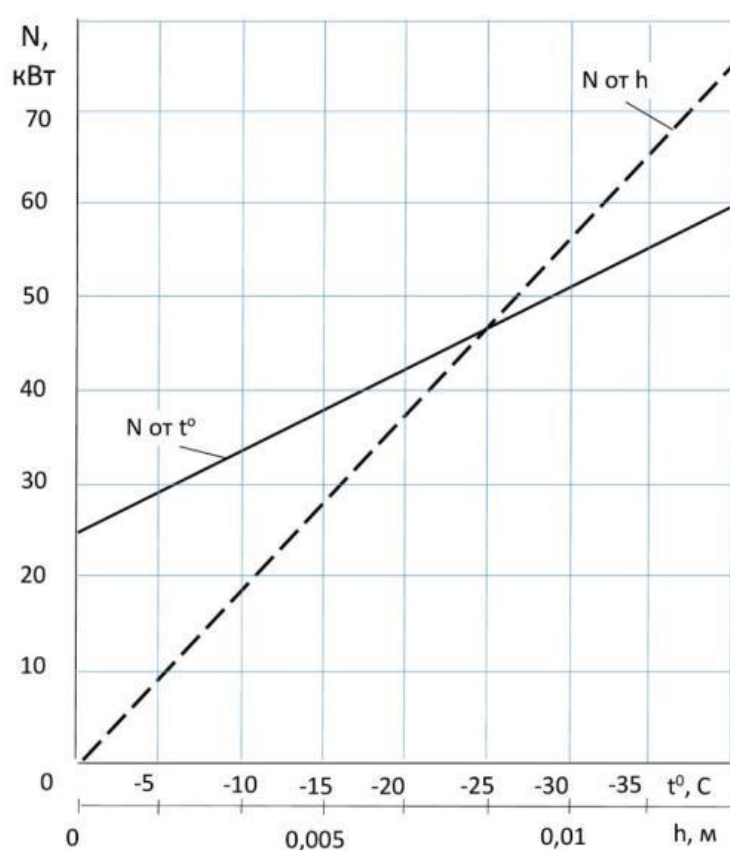


Рисунок 3.70 - Зависимость изменения мощности дробления ледяного покрытия от его толщины и температуры

Экспериментальная проверка данных потребления мощности цикла дробления показала, что ее значительная часть, 98%, достается процессу механического ударного разрушения, а оставшиеся 2% - на продвижение льдоскалывателя.

По экспериментальной зависимости изменения мощности разрушения ледяного покрытия от его температуры, также показанной на рисунке 3.70, видно, что влияние температуры, как и влияние толщины ледяного покрова,

на энергоемкость процесса его разрушения также имеет прямо пропорциональный характер. В дальнейших расчетах и обработке экспериментальных данных температура дневной поверхности ледяного покрытия, для расхода в 30 кВт, будет приниматься равной -5°C .

3.7 Проверка соответствия теоретической модели соударения СЛО с инерционно-ударными бойками рабочего оборудования льдоскалывателя теоретико-опытным путем

Получение теоретической модели соударения СЛО с инерционно-ударными бойками рабочего оборудования льдоскалывателя, за основу формирования усилий, действующих непосредственно на это оборудование, учитывало факторы, связанные с конструктивными особенностями его узлов, зависящими, например, от диаметра внешней окружности инерционного разлета бойков, смонтированных в сменные секции, от количества сменных секций, составляющих ширину льдоскалывателя, от направления вращения и скорости приводного вала вместе с секциями и бойками, от передвижения базовой машины, от предельно возможных величин вертикального перемещения всего рабочего оборудования с учетом анализа известных конструкций коммунальных машин.

Все эти факторы были учтены при помощи уравнений, описывающих величину нагрузок на единичном бойке, а также характер изменения геометрии самого ворса. Таким образом, было получено суммарное выражение для определения усилий, воздействующих на рабочий орган льдоуборочной машины в процессе разработки льда. Так как в итоговое выражение вошло более чем 25 исходных параметров, то решение поставленной задачи было возложено на ЭВМ и реализовано с помощью специальной программы в среде MatLab. Полученные с ее использованием результаты приведены на рисунках 3.71 и 3.72. Упрощенный вид рассчитываемой зависимости имеет вид:

$$M_{\text{кр}} = \sum_{i=1}^{2n} (P_{\text{уд}}(\varphi_i) \cdot (S - y(\phi_i) \pm Z_{\text{по}} \cdot \sin \varphi_i) + P_{\text{тр}}(\varphi_i) \cdot (S - y(\phi_i) \pm Z_{\text{по}} \cdot \sin \varphi_i) + P_{\text{рез}}(\varphi_i) \cdot (S - y(\phi_i) \pm Z_{\text{по}} \cdot \sin \varphi_i)) \quad (3.31)$$

$$P_{\text{в}} = \sum_{i=1}^{2n} (P_{\text{уд}}(\varphi_i) \cdot \sin \varphi_i + P_{\text{тр}}(\varphi_i) \cdot \sin \varphi_i + P_{\text{рез}}(\varphi_i) \cdot \sin \varphi_i) \quad (3.32)$$

$$P_{\text{г}} = \sum_{i=1}^{2n} (P_{\text{уд}}(\varphi_i) \cdot \cos \varphi_i + P_{\text{тр}}(\varphi_i) \cdot \cos \varphi_i + P_{\text{рез}}(\varphi_i) \cdot \cos \varphi_i) \quad (3.33)$$

где: n – число инерционных бойков-ударников, одновременно соударяющихся с СЛО;

φ_i – угол текущего поворота вала привода льдоскалывателя и сменной секции с бойками соответствующий процессу разрушения СЛО.

На рисунке 3.71 приведен график изменения крутящего момента $M_{кр}$, за один оборот вала привода рабочего оборудования, с расположением клиновидных бойков по диаметру 0,7 метра с 6 симметрично расположенными бойками массой каждого 0,05 кг, выполненных из инструментальной стали. Бойки крепятся на гибкой связи, изготовленной из проволоки рессорно-пружинной стали, диаметром 0,005 м и свободной длиной, равной 0,2 метра.

Кроме того, длина от ударной кромки бойка до его центра тяжести равна 0,012 м, ширина бойка 0,01 м. При этом начальный угол резания составлял 90 градусов, скорость базовой машины с навесным льдоскалывателем 1,67 м/с, вращение приводного вала 0,8 рад/с, высота (толщина) СЛО – 0,05 метра, температура воздуха -5°C .

Рабочая ширина комплекта сменных секций на приводном валу – 1 метр, величина предварительной деформации гибкой связи 0,05 метра.

На рисунке 3.72 приведены дополнительные зависимости, характеризующие тот же процесс, например, показано изменение вертикальной силы P_v , действующей на рабочее оборудование, в зависимости от угла поворота приводного вала и сменных секций с инерционными бойками, а на рисунке 3.73 дана зависимость усилия подачи P_r (перемещения) от угла поворота сменных секций с бойками. Из рисунков видно, что для инерционно-ударного оборудования, оснащенного значительным количеством бойков, характерна стабильность значений основных характеристик взаимодействия с ледяным покрытием, таких, как крутящий момент, тяговое и прижимное усилие.

Так как энергозатраты, связанные с разрушением ледового основания, имеют две составляющие, то существует необходимость параллельного расчета затрат мощности как на фрезерование льда и разрушение ледяного покрова, так и на создание тягового усилия.

Мощность разрушения СЛО находится из произведение скорости вращения инерционно-разбивающего оборудования и крутящего момента, а ее затраты на тяговое усилие – умножением этой силы на скорость движения:

$$N_{\text{разр}} = \frac{V_p}{2\pi} \int_0^{2\pi} P_r(\varphi) \cdot d\varphi + \frac{V_p}{\pi D} \int_0^{2\pi} M_{кр}(\varphi) \cdot d\varphi, \text{ Вт}, \quad (3.34)$$

Значение мощности для других разрабатываемых толщин можно получить из уравнения:

$$N_{\text{разр}} = N_{\text{разр}}^{h=0,05} \cdot \frac{h_{\text{расчетная}}}{0,05}, \text{ Вт}, \quad (3.35)$$

Изменение мощности разработки от температуры для других расчетных случаев, когда температура льда отлична от 0°C, могут быть определены из выражения:

$$N_{\text{разр}} = N_{\text{разр}}^{\text{эталонная}} \cdot \frac{t^{\circ}_{\text{расчетная}}}{-5^{\circ}\text{C}}, \text{ Вт}, \quad (3.36)$$

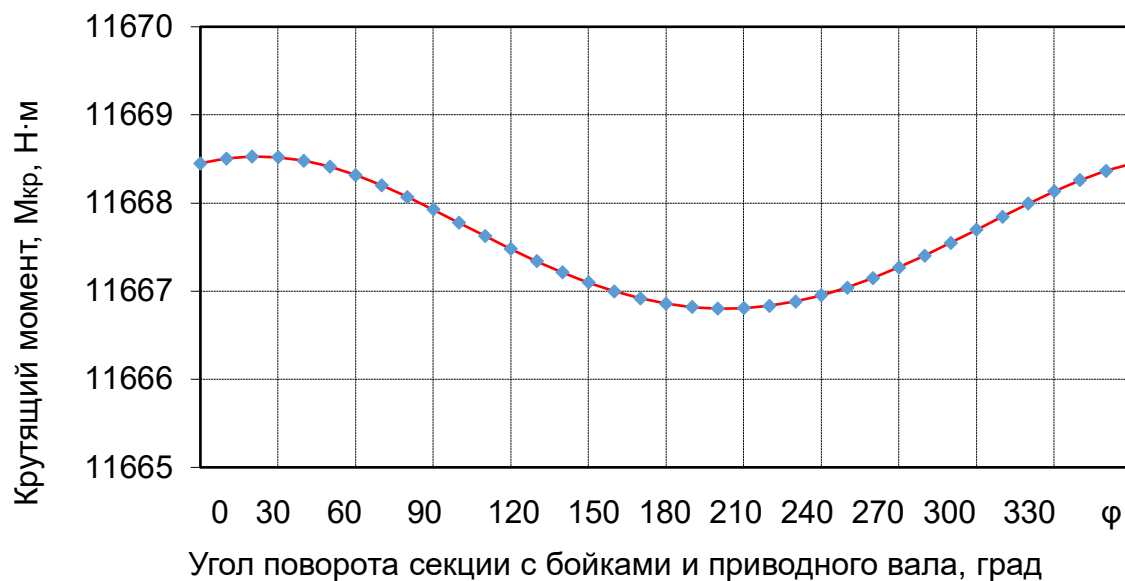


Рисунок 3.71 - Зависимость крутящего момента на рабочем органе от угла поворота его вала привода

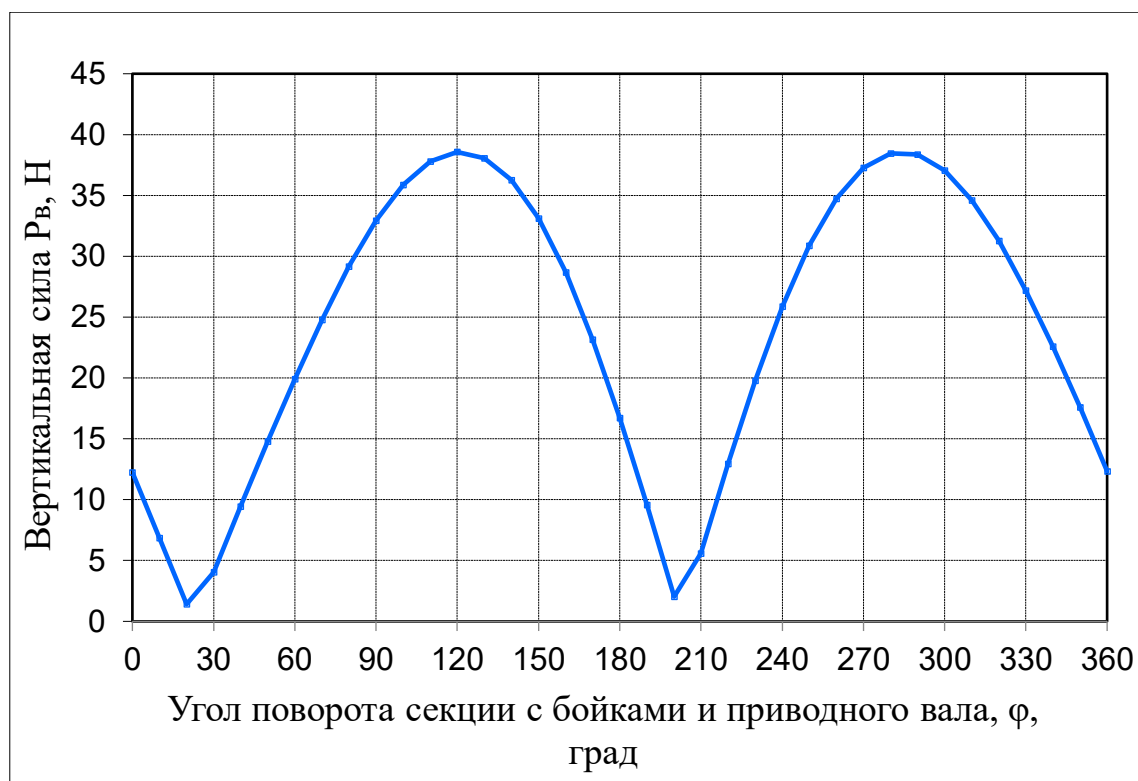


Рисунок 3.72 - Зависимость величины вертикальной силы, действующей на СЛЮ от угла поворота ударных секций рабочего органа льдоскалывателя

Методика планирования и обработка результатов экспериментов, в том числе планирование многофакторного эксперимента и результаты реализации расчета по планированию проведения ортогонального композиционного плана Хартли, являются стандартными, выполнены по известным методикам и в диссертации не приводятся из-за их значительного объема.

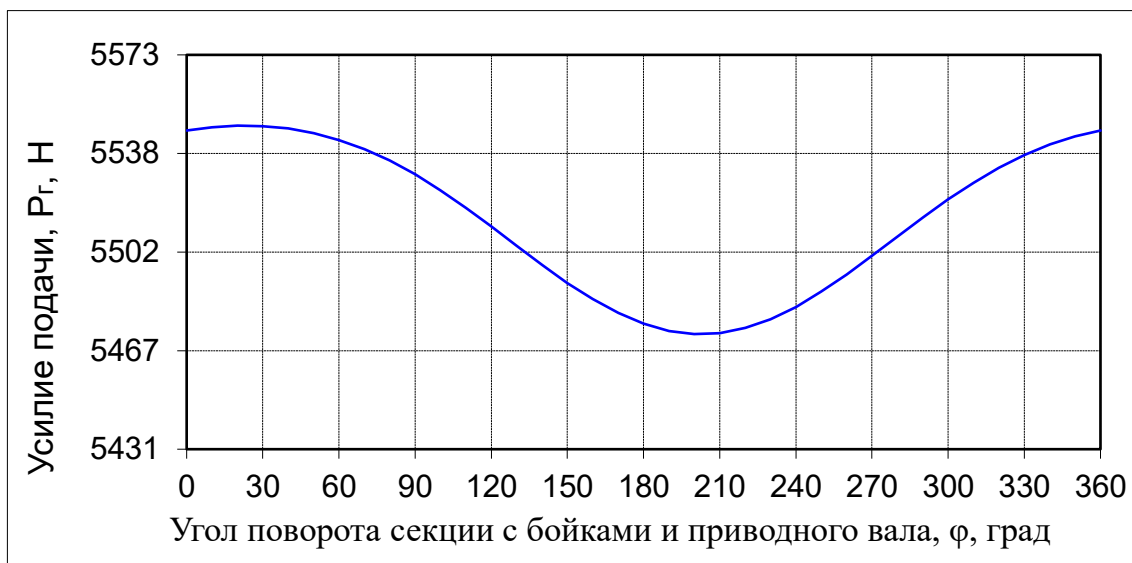


Рисунок 3.73 - Зависимость величины усилия подачи навесного льдоскалывателя от угла поворота вала привода со сменными секциями бойков

3.7.1 Результаты экспериментального исследования

Проверим приведенное выше утверждение экспериментально.

С помощью опытной модели льдоскалывателя, путем механического воздействия его сферических бойков-ударников на СЛО и асфальтобетон, напряжения в их слоях определим, после появления признаков явного нарушения прочности: остаточных заметных деформаций при превышении предела текучести и образование трещин и сколов при превышении предела прочности.

Напряжения, приводящие к любому разрушению СЛО в результате превышения прочности, являются недопустимыми относительно асфальтобетона и остаются приемлемыми для СЛО (льда).

Подтверждением математического и конечно-элементного моделирования является эксперимент по скалыванию льда опытно-промышленным образцом рабочего органа льдоскалывателя, который проводился в различных зимних метеорологических условиях на поверхностях обледенелых дорог, тротуаров и городских территорий города Усть-Каменогорска при различных значениях минусовой температуры.

Обрабатываемый ледовый покров был естественного залегания с различной структурой и возрастом ледяного покрытия [71, с. 1-8].

Принятая методика эксперимента включала определение значения силы, достаточной для разбивания ледяных наплывов до 150 мм, генерируемой

различными сочетаниями параметров РО и РС льдоскалывателя со сферическими или другими бойками, при его стабильно одинаковом рабочем передвижении.

При взаимодействии РС льдоскалывателя и льда фиксировались горизонтальная и вертикальная составляющие реакции на секциях РО, а также величина деформации или полного разрушения попутного ледяного покрова.

Обеспечение вала привода опытного оборудования крутящим моментом осуществлялось при помощи наружного вала отбора мощности базовой машины, трактора МТЗ-82.

Толщина льда, лунок и сколов определялась при помощи электронного штангенциркуля и простой линейки. Перед началом испытаний замерялась общая толщина ледяного покрова, которая в среднем составляла 100...150 мм.

Сравнительная оценка действительных и расчётных значений сил удара, действующих на элементы рабочих органов льдоуборочных машин и на раму льдоскалывателя, производилась на основе обработки сигнала, получаемого от установленных на рабочем органе тензодатчиков.

В качестве приводного вала рабочего органа ударного действия, для проведения экспериментальной части работы, использовались стандартные приводные валы промышленной коммунальной щетки, на которые крепились наборные диски, посредством закрепленных на них цепей связанные с бойками сферической формы (рисунок 3.74). Длина гибкой связи наборных дисков, с учётом крепления бойка, соответствовала стандартным длинам ворса существующих щёточных рабочих органов (рисунки 3.74 - 3.78).

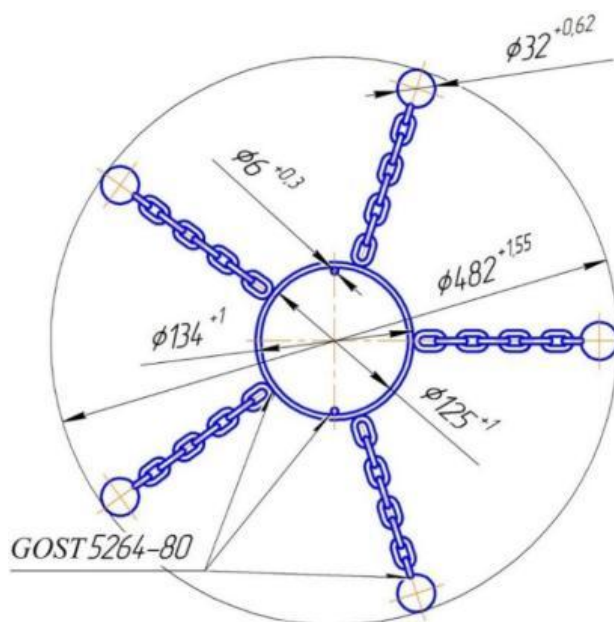


Рисунок 3.74 – Эскиз сменной секции льдоскалывателя с гибкими связями (цепями) и сферическими бойками-ударниками

Результаты проведенного эксперимента (рисунки 3.75 – 3.78) по определению глубины лунки и формы ее кратера при ударе сферического бойка по льду качественно согласуются с результатами моделирования

методом конечных элементов, рассмотренных ранее— глубина лунки 8 мм при 240 об/мин вала привода рабочего органа льдоскалывателя [71, с. 1-8].

Экспериментально подтверждена взаимозависимость скорости действия нагрузки (удара) и характера деформации льда при инерционном ударе бойком. Проведение экспериментальных опытов выполнялось на предоставленных предприятиями ТОО «ЮА Трансстрой» и ТОО «Оскемен Тазалык» рабочих площадках и подъездных путях, с применением их же базовых машин. Ниже (рисунки 3.76- 3.79) приведена фототека эксперимента.

Малая скорость удара сферического бойка по льду вызывает в нем лишь упругие деформации. При возрастании скорости удара бойка, при его вращении вокруг вала рабочего органа до 540 об/мин, наблюдаются упругопластические деформации и начало разрушения.

При экспериментальном исследовании работы навесного льдоскалывателя с вращающимися сферическими бойками, гидравлическим приводом базовой машины задавалась различная величина скорости вращения рабочего органа (240 об/мин.; 420 об/мин.; 540 об/мин.; 840 об/мин. и 1200 об./мин.).

На рисунках 3.69 и 3.79 а, визуально видно, что при скорости вращения 240 об/мин, силы удара бойка недостаточно для разрушения ледяного покрытия на большую глубину. Он только оставлял борозды на ледяном покрытии дорог. Следовательно, для увеличения силы удара нужно или увеличивать скорость вращения рабочего органа, либо увеличивать массу сферического бойка.

Полученные опытные данные, такие, как глубина лунки или высота скалываемого слоя льда (рисунки 3.79 (а и б), 3.80), замерялись и сравнивались с показателями соответствующего моделирования МКЭ [71, с. 1-8].



Рисунок 3.75 – Подбор экспериментальных звеньев льдоскалывателя для сборки в навесной РО (на производственной базе ТОО «ЮА Трансстрой»)

В процессе эксперимента фиксировались данные и по другим параметрам, характеризующим процесс удаления льда с поверхности дорог, тротуаров и других городских территорий, например, величина затрат энергии на осуществление данного процесса.

Теоретически, затраченная на разбивание СЛЮ мощность можно найти из произведения скорости ω (с^{-1}) вращения приводного вала со сменными секциями с бойками на крутящий момент $M_{\text{кр}}$ ($\text{Н}\cdot\text{м}$), а мощность, обеспечивающая тяговую силу $P_{\text{т}}$ (Н) – как умножение этой силы на скорости $v_{\text{п}}$ (м/с) перемещения базовой техники.

$$N_{\text{разр}} = P_{\text{т}} \cdot v_{\text{п}} + M_{\text{кр}} \cdot \omega, \text{ Вт.} \quad (3.37)$$



Рисунок 3.76 – Вариант опытно-промышленного образца льдоскалывателя, сочетающий в своей конструкции ударные звенья со щеточными



Рисунок 3.77 – Рабочий орган льдоскалывателя (базовая машина ТОО «ЮА Трансстрой») с гибкими цепями и полусферическими ударниками в нерабочем, свободном состоянии



Рисунок 3.78 – Опытно-промышленный образец инерционного льдоскалывателя ударного действия, установленный на базовой машине (ТОО «ЮА Трансстрой»), в работе при 240 об/мин

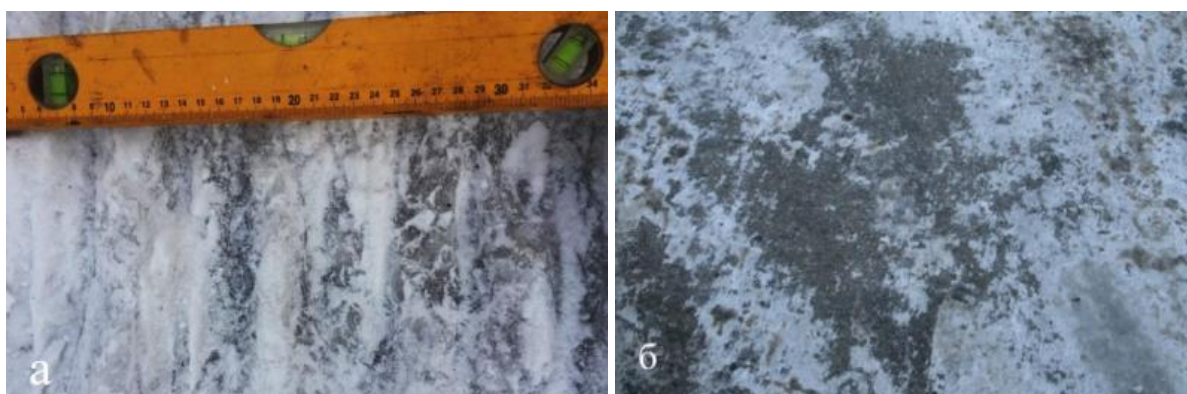


Рисунок 3.79 – Участки дорожного полотна, очищенные ото льда при работе льдоскалывателя со сферическими бойками при 540 об/мин (а) и 840 об/мин (б) вращения его рабочего органа



Рисунок 3.80 – Результат работы ударно-щеточного РО

Удельный расход энергии определяется зависимостью:

$$E = \frac{N_{\text{разр}}}{v_{\text{п}} \cdot B \cdot h_{\text{л}}}, \text{ Вт/(м}^3/\text{с)}. \quad (3.38)$$

где $v_{\text{п}}$ - скорость подачи рабочего органа ударного действия, м/с;

B - ширина рабочего органа, м;

$h_{\text{л}}$ - толщина слоя разрушаемого льда, м.

Анализ экспериментальных данных расхода мощности разработки показывает, что во время уборки льда навесным льдоскальвателем с рабочим органом ударного действия, всего 14% мощности базовой машины тратится на перемещение, а 86% – на разрушение льда.

Ниже (рисунки 3.81 – 3.87) представлены зависимости сравнения теоретических и полученных экспериментальных данных процесса льдоскальвания, подтверждающие их незначительное, в пределах нормы, отклонение друг от друга.

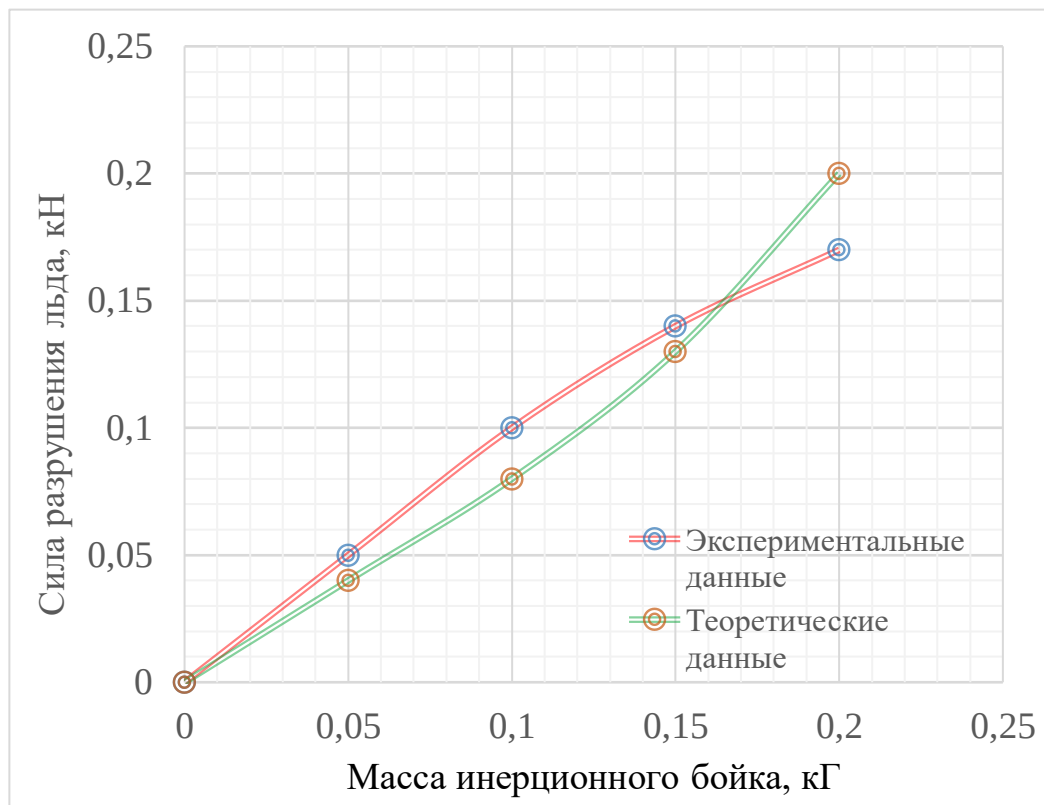


Рисунок 3.81 - Изменение величины динамической силы (удара), требуемой для разрушения льда, в зависимости от массы сферического бойка

Несмотря на уменьшение затрат мощности на разработку льда (крутящий момент с уменьшением толщины льда уменьшается) общие энергозатраты значительно увеличиваются. Критическими точками являются два значения толщины льда. Первое – когда толщина льда большей части очищаемой поверхности становится равной нулю. При этом, несмотря на

отсутствие сопротивлений удару и резанию, поверхность дороги никогда не будет разработана, так как силы удара сферическим бойком не хватает для разрушения асфальтобетона, поэтому энергозатраты будут впустую и максимальны. И второе – когда базовая машина обеспечивает максимально возможное усилие разработки льда. В этом случае суммарные энергозатраты будут минимальны.

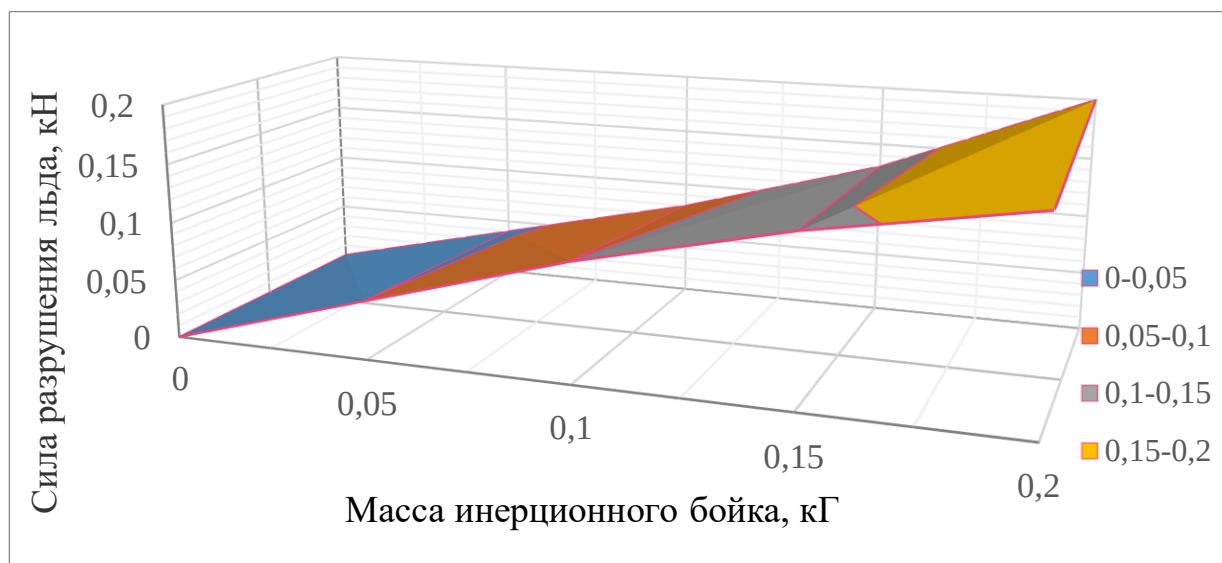


Рисунок 3.82 – Расхождение теоретических и экспериментальных значений определения силы разрушающего удара в зависимости от массы бойка

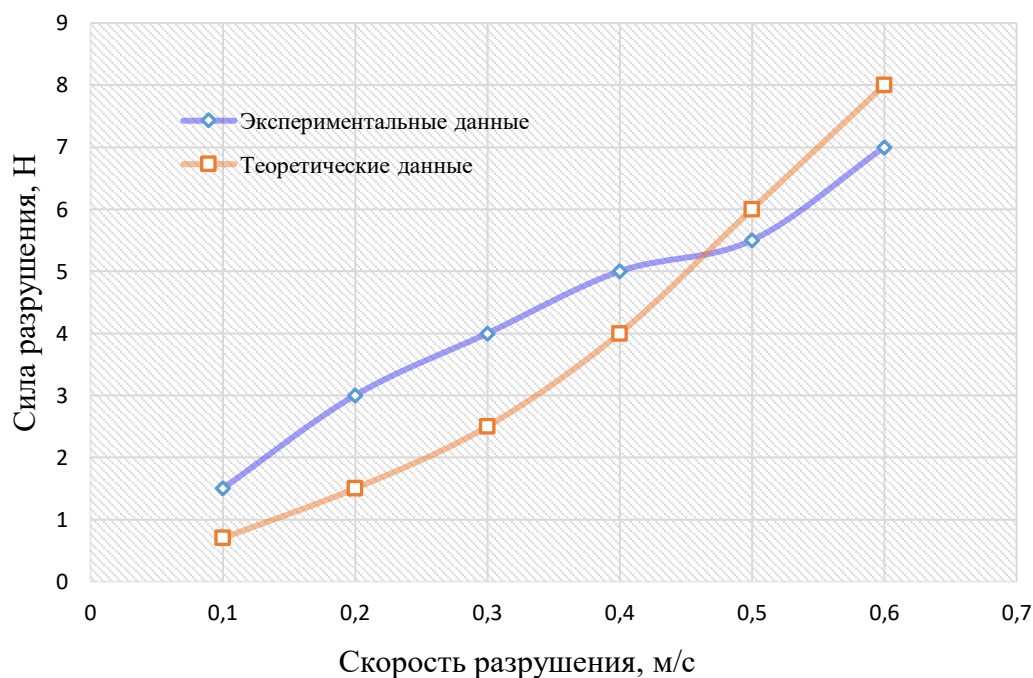


Рисунок 3.83 - Изменение величины разрушающей лед силы механического удара при различной скорости перемещения

В работе следует учитывать наибольшие энергозатраты при не

движущемся льдоскалывателе и их минимальный суммарный расход при наибольшей скорости перемещения работающего льдоскалывателя.

Ранее, на рисунке 3.70, одной из прямых показана зависимость изменения мощности разработки от толщины ледяного покрова дорожного покрытия.

Данная зависимость затрачиваемой мощности дробления от толщины льда носит ярко выраженный линейный характер. Выбираем средний расход мощности 30 кВт и для дальнейших расчётов и обработки экспериментальных данных принимаем толщину льда 0,05 - 0,15 метра.

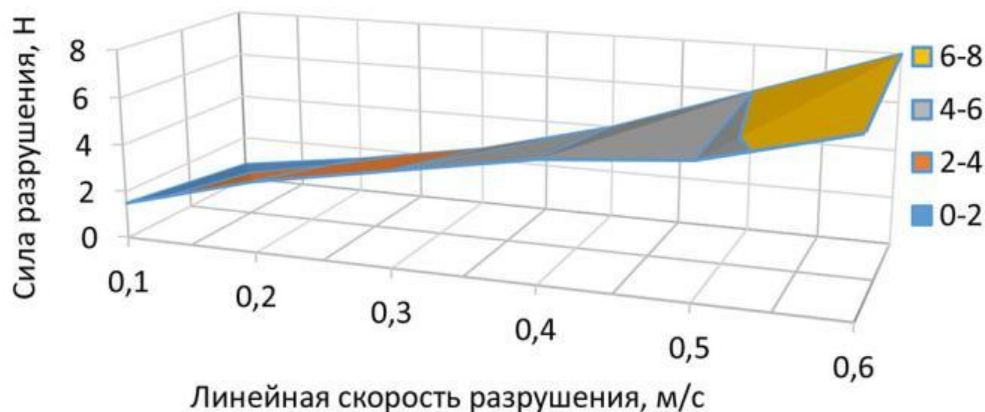


Рисунок 3.84 – Расхождение теоретических и экспериментальных значений определения силы разрушающего удара в зависимости от линейной скорости

Анализ данных экспериментальных исследований подтвердил адекватность предложенной выше модели (с применением МКЭ) очистки дорожного покрытия, в которой сферические бойки ударом разбивают ледяное покрытие автомобильных дорог, но отскакивают от поверхности асфальтобетона, оставляя его верхний слой неразрушенным.

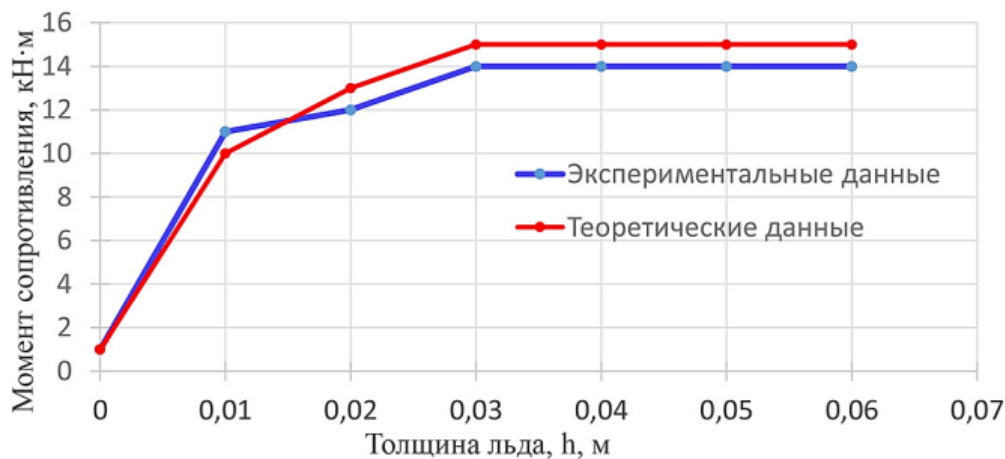


Рисунок 3.85 - Изменение момента сопротивления разработки льда в зависимости от толщины льда

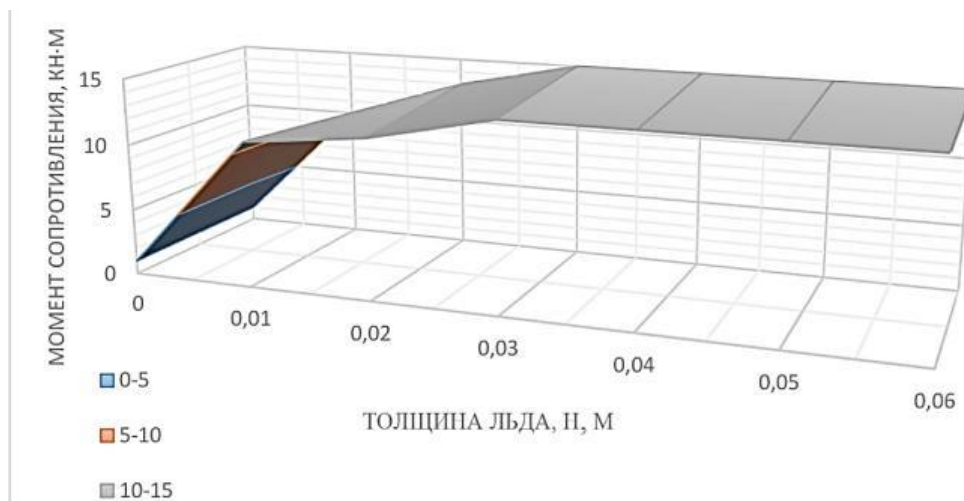


Рисунок 3.86 – Расхождение теоретических и экспериментальных значений определения момента сопротивления в зависимости от толщины льда

Отклонение полученных теоретических и экспериментальных данных по глубине лунки, началу разрушения и перемещения льда для различных условий проведения эксперимента составили от 5 до 12%.

На рисунке 3.87 представлена экспериментальная зависимость динамической силы, разрушающей ледяное покрытие, от его толщины и скорости вращения рабочего органа льдоскалывателя. На графике есть неожиданные всплески по величине динамической силы, которые вызваны, скорее всего, возрастной твердостью льда. Свежий лед намного крепче лежалого, поэтому данные по затрачиваемой силе делают противоречащий логике скачок. Но на очищаемой поверхности лед был не только различного возраста, но еще и разным по своей толщине, поэтому всплески увеличения требуемой для разрушения силы оправданы, и, в конечном итоге, выглядят логичными.

Неравномерная поверхность распределения по осям необходимой для разрушения льда динамической силы присуща и экспериментальному графику ее зависимости от толщины и температуры льда (рисунок 3.87). Лед, находящийся на солнце и лежащий в тени, имеют различную прочность и склонность к раскалыванию, поэтому на одном и том же участке стали возможны резкие скачки в потребности значения динамической силы, величина которой регулировалась оператором базовой машины, в большей части изменением скорости вращения рабочего органа [120].

На данном графике толщина льда ограничена высотой 50 мм.

На рисунке 3.81 показана зависимость динамической силы, получающейся при вращении рабочего органа льдоскалывателя его предусмотренными технической инструкцией стандартными скоростями, но для различной массы сферического бойка, которая изменялась от 0 грамм, т.е. боёк вообще отсутствовал на гибкой связи, до 200 грамм. При эксперименте сила удара замерялась виброметром BaltechVP-3470.

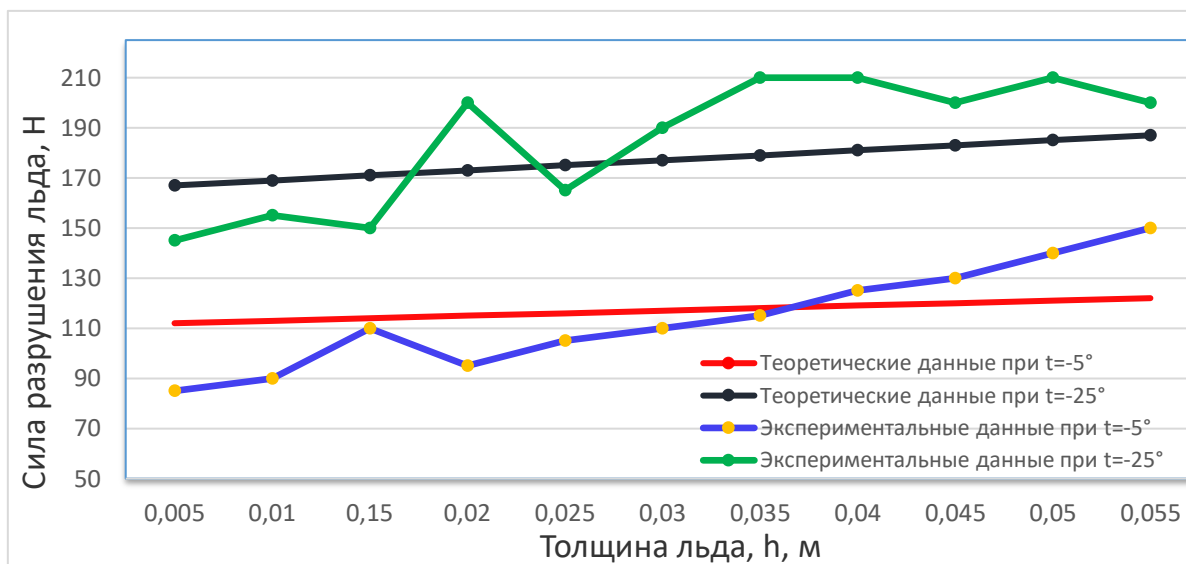


Рисунок 3.87 - Изменение теоретических и экспериментальных данных инерционной силы разрушения льда различной толщины и температуры

Соответствие теоретической модели данным эксперимента и предельное расхождение результатов показаны на рисунках 3.82, 3.83, 3.85 и на рисунке 3.87. Расхождения незначительны, хоть и имеют практические всплески показаний, которые, скорее всего вызваны диссипативными потерями или нестабильным сигналом датчиков, все-таки минусовая температура и обработка сигнала с двигающейся базовой машины с навесным органом льдоскалывателя, и находятся в пределах допустимого.

На рисунке 3.86 показано наибольшее соответствие результатов, а на рисунке 3.84 можно увидеть максимальное сближение теоретических и практических показателей при разрушающей силе 5Н и линейной скорости 0,4 – 0,5 м/с. Этот диапазон можно считать самым рациональным, так как получается, что при минимальном ударе, при постоянной частоте вращения приводного вала с бойками-ударниками и определенной линейной скорости наступают условия, достаточные для разрушения льда и которых, явно, будет недостаточно для разрушения твердого покрытия дорожного полотна, будь то бетон, или асфальтобетон.

Анализ данных экспериментальных исследований подтвердил адекватность, предложенной выше математической модели. Отклонение полученных теоретических и экспериментальных данных для различных условий проведения эксперимента составили от 5 до 12%.

Выводы по 3 разделу диссертации:

1. Механическое скалывание ледяного покрова с автодорог является достаточно эффективным методом выполнения работ;
2. Полученные в данном разделе диссертации теоретические зависимости обеспечивают выбор наиболее рациональных параметров скалывающих секций, собранных в рабочий орган для практической работы и связывают между собой эти данные и данные реального убираемого льда;

3. Теоретико-экспериментальным методом подтверждена гипотеза разрушения СЛО на покрытиях автомобильных дорог, без нарушения целостности последнего. Рассмотренная проблема имеет большое фундаментально-прикладное значение при учете влияния местных деформаций на общее напряженное состояние конструкций, испытывающих продольные и поперечные удары;

4. Выполнено сравнение различных методов разрушения СЛО на автодорогах и оценено расхождение заявленных параметров льдоскалывателей с опытными при их конструктивной доработке по разработанной методике выбора параметров рабочего оборудования для уменьшения энергопотребления процесса разрушения СЛО;

5. Величина производительности льдоскалывателей инерционного действия, колебания силы разрушения СЛО, зависящая от изменения конструктивных параметров, проверены на достоверность опытных показателей, а математическая модель на адекватность. Достоверность контролируемых параметров подтверждена по всем основным критериям. Было подтверждено, что относительная погрешность не превысила 5 – 12% и зависела только от показателей исследуемых параметров;

6. Определены основные конструктивные и эксплуатационные параметры и режимы работы, влияющие на энергопотребление рабочего процесса, определены рациональные диапазоны их применения, обеспечивающие максимальную эффективность разрушения СЛО, при минимальных расходах. Наиболее контролируемыми при осуществлении работ должны быть такие параметры, как высота (толщина) СЛО, сила его сцепления (адгезия) с АБП, температура СЛО.

7. Размеры гибкой связи, массы инерционных бойков-ударников и их количество в одной съемной секции, конечный диаметр рабочего органа льдоскалывателя, ограниченный максимальным вылетом инерционных бойков при вращении вокруг приводного вала, скорость вращения вала привода, скорость перемещения базовой машины, перпендикулярность рабочего органа относительно колеи базовой машины, регулирование высоты положения льдоскалывателя относительно разрушаемого СЛО – это параметры, изменение которых может привести как к минимизации энергопотребления процесса, так и к его неоправданно большим величинам, поэтому по результатам опытов выявлены их наиболее рациональные величины, рекомендуемые к применению.

8. Результаты опытов обработаны на ПК с соответствующим программным обеспечением и сведены в графические зависимости, подтверждающие адекватность теоретических моделей.

4 ОБЗОР И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАЗРАБОТКЕ И ВЫБОРУ РАЦИОНАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ НАВЕСНОГО УДАРНО-РОТОРНОГО РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ РАЗРУШЕНИЯ СНЕЖНО-ЛЕДЯНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ

Всем известным конструкциям льдоскалывателей, навесным, штатным, комбинированным, ручным и т.д., присущи и пока полностью не исключены общие недостатки: неполная очистка от СЛО обслуживаемой территории, когда на ее поверхности остается тонкий слой неубранного льда, и разрушение несущего слоя очищаемой поверхности ударными бойками льдоскалывателей, вместе с одновременно разбиваемым СЛО.

В данном разделе диссертационной работы представлены и рекомендованы к внедрению разработанные при участии докторанта и защищенные патентами различного уровня конструкции навесного ударно-роторного рабочего оборудования для разрушения снежно-ледяных образований, проще – навесных льдоскалывателей, условно разделенных на 3 группы (Приложение Д):

1. Рабочее оборудование льдоскалывателя, которое монтируется внутри другого стандартного, но сезонного навесного оборудования, работающего в теплых условиях отсутствия СЛО на дорогах, например, как сменный роторный рабочий орган коммунальной щетки для зимнего содержания дорог, только ударного типа;

2. Устройства роторного типа, сочетающие в себе комплекс одновременного воздействия ударно-роторного устройства на СЛО в разных направлениях, например, за счёт создания точечного и поперечно-линейного разнонаправленного ударного воздействия на разрушаемый слой льда;

3. Оборудование льдоскалывателей с регулируемым воздействием на СЛО путем изменения рабочих или конструктивных параметров в автоматическом или ручном режиме.

Конечно есть конструкции, комбинирующие параметры вышеуказанных групп.

Рассмотрим конструкцию рабочего органа для разрушения льда на автодорогах по Евразийскому патенту №037053, рисунок 4.1 [121].

Рабочее оборудование данного устройства представляет собой смонтированные на приводном барабане комбинированные ударники, способные генерировать как точечные, так и поперечно-линейные разнонаправленные ударные воздействия на разбиваемые СЛО. Достигается это за счет оснащения, в шахматном порядке, упругих бойков (ударных цепей) концентрированным пригрузом, по форме напоминающем булаву. Работа такого оборудования управляется из базовой машины через микропроцессорный блок и может кроме скорости вращения изменять еще и направление вращения приводного вала с бойками. Цепь при ударе по СЛО развивает поперечно-линейные разнонаправленные ударные воздействия, а смонтированный на одиночных цепях пригруз создает точечный удар.

Комбинация этих различных воздействий на СЛО позволяет разрушать даже самую тонкую пленку льда за счет разнонаправленного роста пересекающихся напряжений и трещин.

Изобретение поясняется рисунками, например, на рисунке 4.1,а показан сбоку базовый автомобиль с навесным льдоскальвателем, на рисунке 4.1,б – вид А, соответственно на рисунке 4.1,в – вид Б-Б. Несущая рама льдоскальвателя шарнирно закреплена на раме базовой машины 1, через толкающую раму 2, а положение льдоскальвателя относительно очищаемого полотна выставляется гидроцилиндром 3. Вращение барабана 5 вместе с гибкими 12, и разрушающими бойками 13 обеспечивает полное очищение дорожного полотна от СЛО.

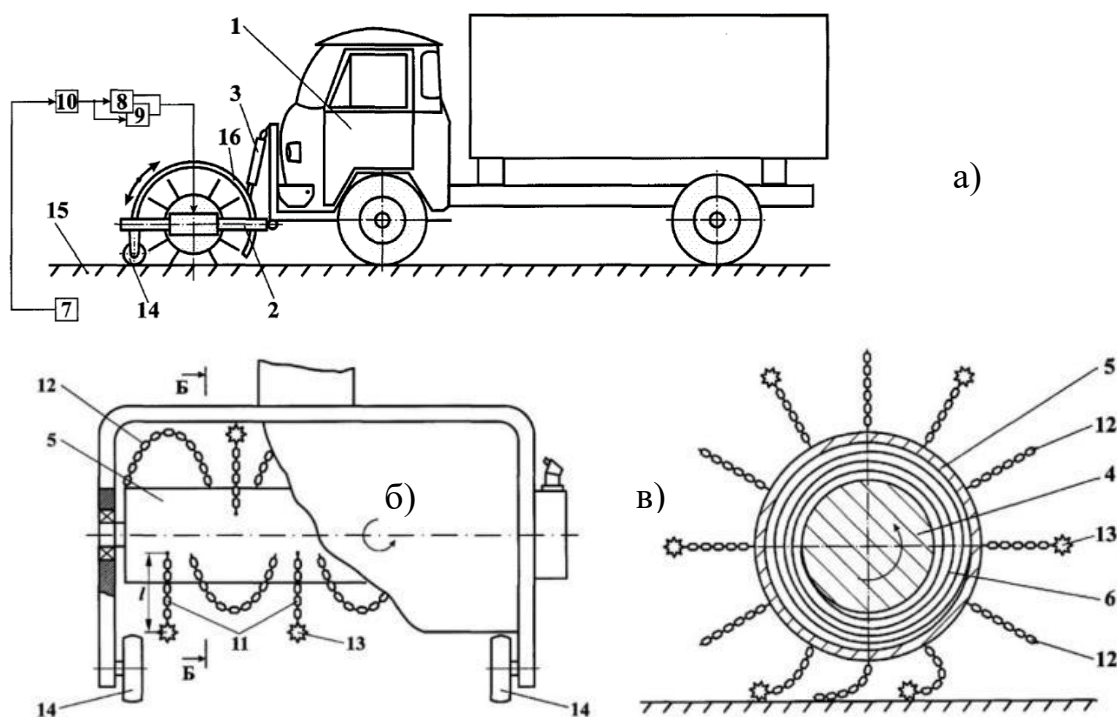


Рисунок 4.1 – Навесной ударно-роторный льдоскальватель по Евразийскому патенту №037053 (цитируется в Clarivate Analytics)

Примечание – Адаптировано из источника [121, р. 1-8]

Международная заявка на патент РСТ WO2020/071891A1 [33, с. 1-6] представляет навесное льдоскальвающее шнекообразное устройство, с расположенными по винтовой линии прямоугольными пазами, ориентированными к центру шнекового вала, в которых смонтированы режущие элементы, контактирующие с рифлениями паза, между которыми установлены вдавливаемые в СЛО острые шипы, рисунок 4.2.

Льдоскальватель также содержит прямоугольные пазы 3, направляющие 2, рифления 4, каркас 5, резцы 6, поперечины 7, пазы 8, режущие лезвия 12 и шипы 16.

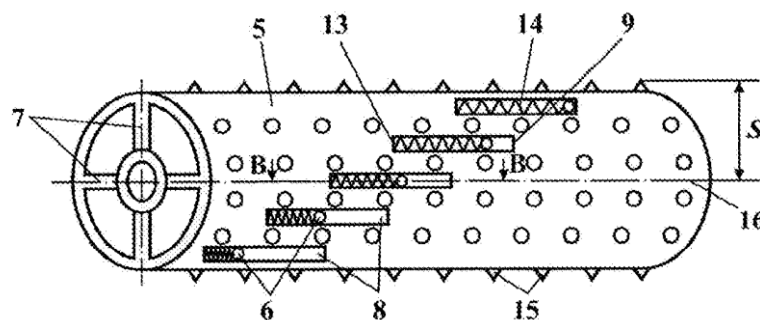


Рисунок 4.2 – Навесной льдоскалыватель по международному патенту РСТ №WO2020/071891A1 (цитируется в Clarivate Analytics)

Примечание – Адаптировано из источника [33, р. 1-7]

Глубокие разнонаправленные борозды в СЛО, оставляемые разжимающимися упруго деформируемыми элементами, позволяют их мелко дробить и сметать с дорожного полотна, что существенно повышает эффективность данного льдоскалывателя.

Изобретение по патенту РК № 34011 [122] представляет собой цилиндрическую щетку для уборки СЛО с дорог и тротуаров (рисунок 4.3). Вместо ворса на щетке шарнирно смонтированы ударные полукруглые бойки 6 с рисками 8, подпружиненные относительно приводного вала 1.

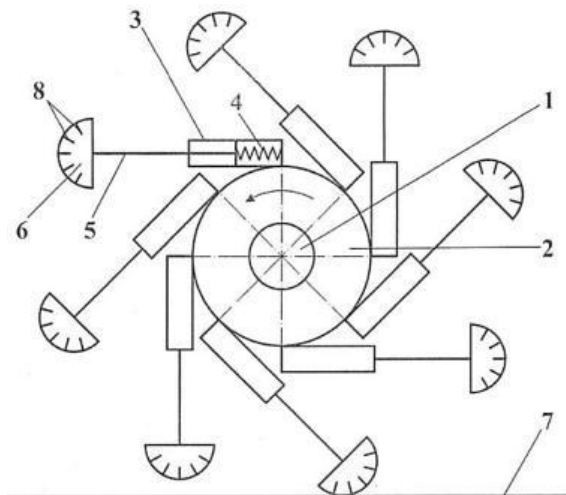


Рисунок 4.3 – Навесной ударно-роторный льдоскалыватель по патенту РК № 34011

Примечание – Адаптировано из источника [122, с. 3]

Втулка 2 вращаясь с определенной скоростью вращает смонтированные на ней подпружиненные бойки 6, ударяющие по СЛО своей рифленой, полукруглой поверхностью. Сам подпружиненный боек 6, может за счет сил трения вытягиваться из втулки 2, сжимая пружину 4, и, затем, с усилием занимать исходное положение, скалывая оставшийся целый лед.

Щетка технологична в производстве, проста и неметаллоемкая.

Секционная щетка-ледоскалыватель по патенту РК №34048 [123], спроектирована для удаления и одновременного дробления СЛЮ, имеет схожий с предыдущим изобретением принцип действия и состоит из радиальных стержней 2, упругих элементов 3, полых шаров 4 с металлической дробью 5, втулок 6 и вала 7 (рисунок 4.4). С увеличением скорости вращения вала 7, за счет центробежной силы стержни 2 могли раздвигаться по длине, путем растягивания «пружин» 3. Это был один признак увеличения кинетической энергии удара. Второй признак обеспечивался заполнением шаров 4 металлической дробью 5. Во время вращения вала 7 с размещенными на нем шарами 4, частично заполненными дробью 5, дробь 5 откидывалась назад, а во время удара, за счет сил инерции, устремлялась вперед, добивая СЛЮ, как подкалиберный снаряд. Кинетическая энергия бойков и их ударная составляющая нагрузки увеличивалась, за счет чего происходило увеличение эффективности дробления СЛЮ, сметаемых щеточным ворсом установленных там же секций 1. Конструкция легко выполнима силами любой заинтересованной организации.

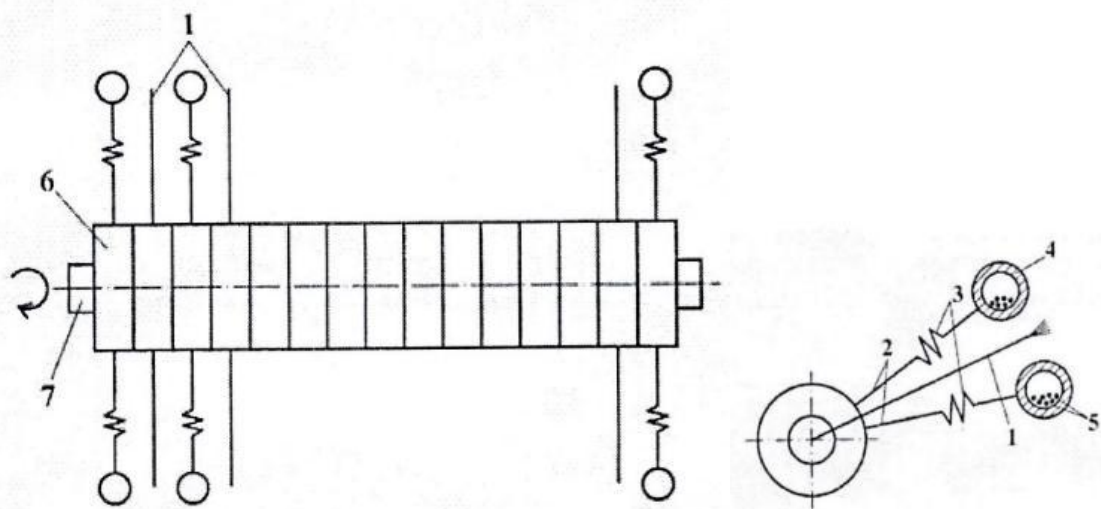


Рисунок 4.4 – Навесной ударно-роторный ледоскалыватель по патенту РК № 34048

Примечание – Адаптировано из источника [123, с. 1-4]

Схожий принцип и у устройства по патенту на изобретение РК №33963 [124], в котором известная конструкция коммунальной дорожной щетки с ворсом, собранным в отдельные секции, дополнена секциями с ударными бойками 8, подпружиненными относительно своих несущих штанг 6 (рисунок 4.5). Бойки 8 выполнены вращающимися и покрытыми острыми рифлеными шипами. При вращении приводного вала секции с бойками начинают дробить и измельчать лед, а секции с ворсом сметают его с дороги. Бойки 8 за счет упругого элемента 7 могут выдвигаться по оси во время вращения, увеличивая рычаг и силу удара, а потом сокращаться, что уменьшает сопротивление перекатывания бойка по дорожному полотну. Секции с бойками легко

выполнимы, нематериалоемки, на лето могут сниматься с рабочего барабана и использоваться как сезонное оборудование.

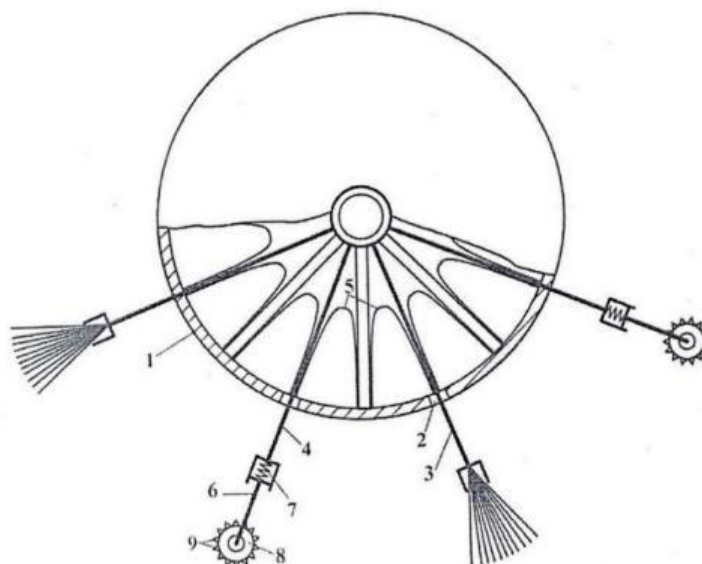


Рисунок 4.5 – Навесной ударно-роторный ледоскалыватель по патенту РК №33963

Примечание – Адаптировано из источника [124, с. 1-3]

В устройстве по изобретению РК №34067 [125], ударный элемент выполнен в виде диска с расположенными по спирали Архимеда секций с угловыми режущими вставками с неодинаковыми ребрами жесткости (рисунок 4.6).

Секции с бойками 2, за счет эллипсовидного отверстия 4, с равноудаленным смещением насаживаются на вал и собираются в рабочий орган, который устанавливается вместо секций с ворсом в коммунальную дорожную щетку.

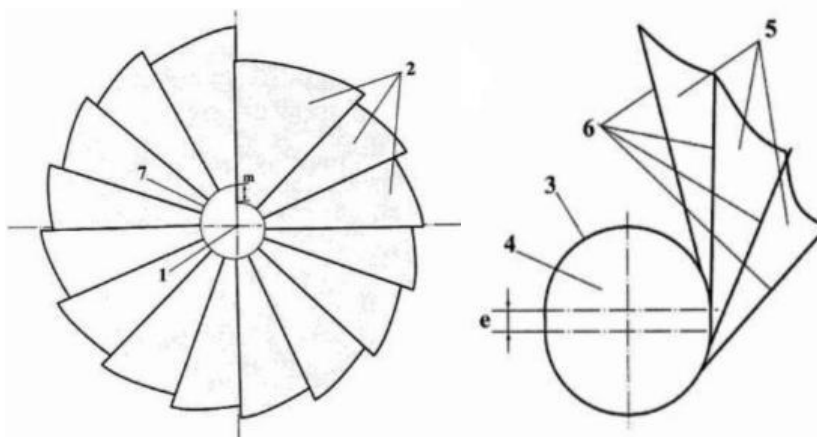


Рисунок 4.6 – Навесной ударно-роторный льдоскалыватель по патенту РК №34067

Примечание – Адаптировано из источника [125, с. 1-4]

Вращение такого, на первый взгляд странного устройства, генерирует взаимодействие ударных режущих вставок с очищаемой поверхностью, на которой начинается скалывание и резание СЛО по ширине предлагаемого устройства. При этом СЛО будут скалываться, срезаться, даже выковыриваться с очищаемого полотна, а оно само останется невредимым. Установка «крыльев» с режущими вставками по спирали Архимеда с разным шагом может применяться для уборки различных по высоте СЛО. Монтаж устройства достаточно прост и легок, ремонтпригоден, лёгкосъём, перенастраиваем на другие параметры или конфигурацию режущих кромок и частей в целом. Устройство просто в эксплуатации и изготовлении, не материалоемко. Рекомендуется и может быть использовано в любой дорожно-обслуживающей организации.

Следующие две конструкции с пассивным интеллектуальным управлением их параметров и характеристик.

Устройство очистки от уплотненных СЛО на дорожной полосе по изобретению РК №34377 [126] имеет сложную систему регулирования ударного воздействия на них сферических бойков 15 с неодинаковой массой, подпружиненных относительно барабана 1 упругими элементами 14 различной жесткости, рисунок 4.7. Торец 6 барабана 1 и его обечайка соединены не жестко, а посредством упругого крепления 13, поэтому барабан имеет возможность упругого отклонения от горизонтали в случае наезда на препятствие. На валу 2 устройства расположили двухзвенный шарнирный привод 3 с грузом 10 смонтированным на шарнире 9, с возможностью перемещения по валу 2. Шарнир 9 связан с вращающимся колесом 11, уменьшающим потери трения при его контакте с обечайкой барабана 1 при осевой радиальной деформации шарнира 9.

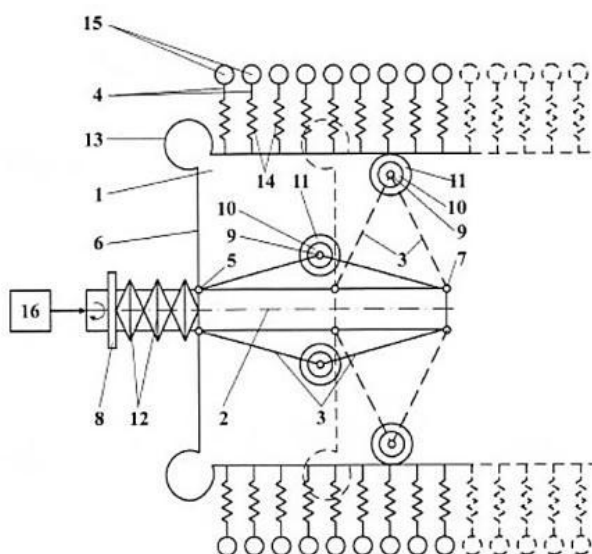


Рисунок 4.7 – Навесной ударно-роторный льдоскалыватель по патенту РК №34377

Примечание – Адаптировано из источника [126, с. 1-3]

При вращении вала 2 вместе с ним вращается барабан 1 вместе с подпружиненными бойками 15. Под действием центробежных сил шарнирный механизм 3 начинает раздвигаться до упора колес 11 в обечайку 11. Но двигается по валу 2 шарнир 3 не один, а вместе с торцевой поверхностью 6 барабана 1, подпружиненной относительно обечайки, обеспечивая наибольший охват площади разбивания СЛО бойками 15 при равномерном перераспределении накопленной кинетической энергии, передаваемой от звеньев 4 на поверхность СЛО.

Такая сложная регулировка усилия разрушения СЛО позволяет равномерно воздействовать на очищаемую поверхность по всей ширине захвата льдоскалывателя, обеспечивая высокую степень очистки и надежность конструкции. Работа устройства стабильна, надежна, воспроизводима для любых СЛО, конструкция устройства проста в изготовлении, высокоэффективна и нематериалоемка.

Навесной орган для разрушения от уплотненных СЛО на дорожной полосе по изобретению РК №34424 [127], наиболее полно охватывает участок разрушения СЛО путем кинематическо-силового замыкания и выравнивания деформативной способности своих подвижных узлов и звеньев (рисунок 4.8).

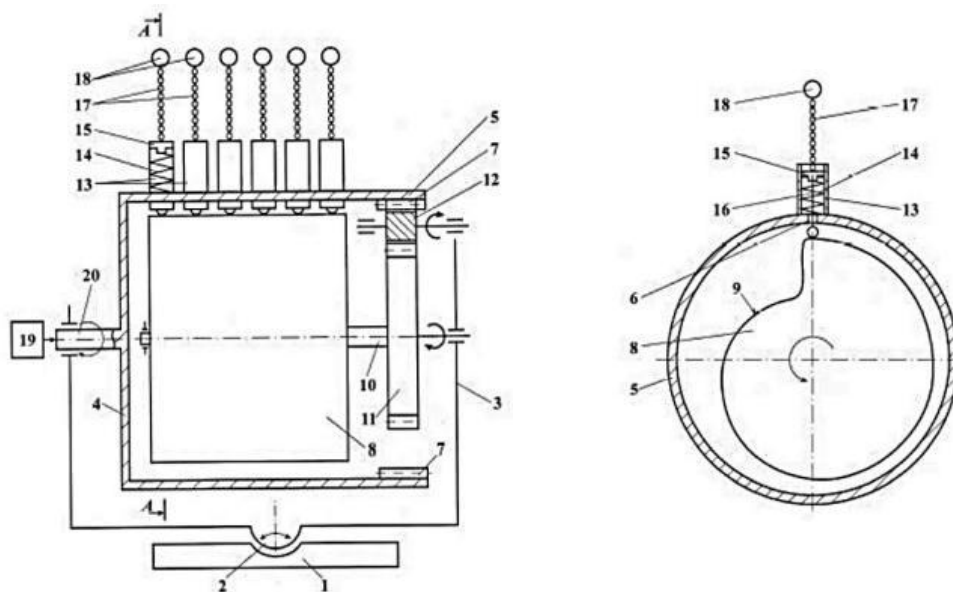


Рисунок 4.8 – Навесной ударно-роторный льдоскалыватель по патенту РК №34424

Примечание – Адаптировано из источника [125, с. 1-4]

Устройство может поворачиваться на угол до 30 градусов относительно направления пути перемещения базовой машины за счет сферического неполноповоротного шарнира 2, к которому оно прикреплено. В полом цилиндре 5 конструкции с радиальными отверстиями 6 смонтирован кулачек 8, с рабочей поверхностью 9 в виде спирали Архимеда, который связан с

центральным зубчатым колесом 11. На центрирующих дисках 15 посредством гибких звеньев прикреплены бойки 18 на цепи 17.

При вращении вала привода 20, вращается цилиндр 5, а вместе с ним кулачек 8 и зубчатые колеса 11 и 12. Толкатели 16, пружинами 14 радиально соединенные с центрирующими дисками 15, контактируют с изменяющейся по спирали Архимеда поверхностью 9 кулачка 8.

Ударники 18, вращаясь вместе с барабаном 5, наносят точечные удары по СЛО, дробя его в мелкую крошку. Частота ударов зависит от скорости вращения барабана 5 и количества зубьев колес 11 и 12 (передаточного отношения). Регулированием этих параметров можно регулировать и требуемые для измельчения соответствующего СЛО параметров льдоскалывателя.

За счет вращения кулачка происходит изменение длины стержня, на котором закреплен подпружиненный боек, а значит все время, за счет изменения длины рычага, чередуется усилие удара, что позволяет наиболее полно разрушить СЛО за счет разного силового воздействия и разного количества ударов на участке захвата очищаемой площади. Устройство надежно в работе и просто в ремонте и эксплуатации.

Выводы по 4 главе:

1. Преимуществом разработанных с участием диссертанта изобретений является высокая эффективность очистки дорожного полотна от СЛО, включая тонкий лед, простота конструкции, малая металлоемкость и низкое энергопотребление. Все устройства можно использовать как сменное навесное оборудование к базовой коммунальной технике, что, несомненно, повысит ее универсальность и востребованность. Устройства обеспечивают уменьшение времени на уборку СЛО за счет его полного разрушения за один рабочий проход. Устройства обеспечивают уборку СЛО без разрушения несущего слоя очищаемой поверхности, что позволит сэкономить средства на его сезонном ремонте и повысить эффективность зимнего содержания территорий при помощи разработанных конструкций [128];

2. Полученные результаты, а также решения, заложенные на их основе в конструкции новых рабочих органов для разрушения льда и уплотненного снега, кроме всего остального, предполагают также реализацию различных методов модернизации существующего оборудования для летнего содержания автомобильных дорог, перестановка части деталей которого и замена их вновь разработанными, позволяет использовать такое оборудование и летом, и в зимний период (Приложение Е).

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Разработана механико-математическая модель скалывания льда, позволяющая заранее правильно выбрать параметры и конструкцию скалывающих секций льдоскалывающей машины, работа которых будет максимально эффективна для текущего состояния льда, его толщины и прочности, при одновременном сохранении целостности дорожного полотна.

2. Сопротивление льда сдвигающим касательным усилиям, как на гладкой, так и на шероховатой поверхности в среднем на 20% больше сопротивления льда отрыву, что свидетельствует о практической невозможности удаления ледяной пленки чисто сдвигом и требуется его разрушение (дробление) и очистка механическим способом, например, вращающимися инерционными бойками;

3. При работе сферического ударника по поверхности, не покрытой слоем льда, на ней остаются теневые следы от удара, но сама поверхность не разрушается, что подтверждает правильность выдвинутой диссертантом гипотезы о возможности разрушения слоя льда на поверхности автомобильных дорог без разрушения самой поверхности дороги.

4. Было выявлено, что во всех циклах экспериментов фактическая толщина h разрушаемого льда в 7...8 раз больше расчетной глубины w проникновения бойка в лед, и на этой основе получены дополнительные расчетные зависимости для определения массы и скорости соударения сферического бойка, необходимых для разрушения льда заданной толщины.

5. Выбор рационального конструктивного комплектования различными бойками РО льдоскалывателя по уточнённой методике позволяет уменьшить до 25% энергозатрат на дробление и смет СЛЮ с поверхности автодорог, при неизменной производительности и полной сохранности дневного слоя дорог.

6. Промышленная проверка соответствия математической модели соударения инерционных бойков и СЛЮ показала, что в варианте вращения приводного вала льдоскалывателя вместе со сменными секциями и инерционными бойками навстречу рабочему направлению, мощность, направленная на дробление СЛЮ, в 2-3 раза ниже, чем при обратном вращении.

7. Принятые в плановом эксперименте по сбрасыванию шара-бойка показатели, такие, как его масса $m=0,5$ кг и диаметр рабочей сферической части $d=0,05$ м, позволяли полностью разбить СЛЮ высотой $h_{\text{л}}=14$ мм, при окружающей температуре до $t_{\text{в}}^0=-20^{\circ}\text{C}$, за одно соударение, при падении шара с высоты $h_{\text{ш}}=1200$ мм, что соответствует частоте вращения РО $n=360$ об/мин, а частоте $n=883$ об/мин, соответствует двукратному падению шара с высоты $h_{\text{ш}}=700$ мм, причём шар разбивает лед практически не достигнув дорожного покрытия, т.е. экспериментально подтверждается возможность разбивания и смета СЛЮ с поверхности дороги без разрушения ее поверхностного покрытия инерционным бойком льдоскалывателя.

8. Двукратное попадание инерционного бойка в предыдущую лунку, достигаемое при снижении скорости базовой машины или увеличении скорости вращения вала привода, влечет за собой уменьшение в 1,3 раза скорости ударника (или частоты вращения вала привода РО), что позволяет корректировать и снизить общие энергозатраты на уборку СЛО.

9. Снежно-ледяные образования, включая тонкие ледяные пленки толщиной до 3 мм, образующиеся в результате замерзания талой или дождевой воды, успешно разрушаются навесным цепным рабочим органом со сферическими бойками, который позволяет эффективно удалять с дорожного покрытия снежно-ледяной накат толщиной до 15 мм за один проход базовой машины со стандартной скоростью вращения вала привода.

10. Большое влияние на процесс разрушения льда оказывает такой параметр ударника, как радиус рабочей сферической поверхности, при увеличении которого эффективность разрушения льда снижается. При длине гибкой связи (цепи) сферического бойка 0,2 м, радиус сферы бойка рекомендуется выполнять в пределах 0,05...0,03 м.

11. При массе ударника $m=0,3$ кг, при диаметре сферической рабочей поверхности $r=0,03$ м, лед толщиной до $h_{\text{л}}=0,08$ м при температуре воздуха $t^{\circ}_{\text{в}}=-20^{\circ}\text{C}$, полностью разрушается без проникновения падающего шара до поверхности бетона, т.е. экспериментально подтверждается возможность избежать разрушения покрытия дороги при использовании ударника со сферической рабочей поверхностью.

12. По выведенной теоретико-эмпирической формуле проведены расчеты массы ударника для тех же значений толщины слоя льда, что и в экспериментах, при которых происходило разрушение СЛО при однократном ударном воздействии. Расхождение результатов теоретических расчетов оказалось очень малым в сравнении с экспериментальными результатами (максимальная пиковая погрешность – 15,6%).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Указания по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах. ВСН 25-86/министерство автомобильных дорог РСФСР. – М.: ГУП ЦПП, 1999. – 183 с.
2. Дорожные условия и режимы движения автомобилей / В. Ф. Бабков, М. Б. Афанасьев, А. П. Васильев и др.. – М.: Транспорт, 1987. – 223 с.
3. Коллинз, Д. Анализ дорожно-транспортных происшествий: Перевод с англ. / Д. Коллинз, Д. Моррис. – М.: Транспорт, 1991. – 180 с.
4. Колдасов О.Б., Мусабекова С.А. Анализ Дорожно-транспортных происшествий в центральном Казахстане. Журнал: Инновации. Наука. Образование. № 33, 2021. НАО «Медицинский Университет Караганды». - С. 1871-1877.
5. Лавров В.В. Деформация и прочность льда. - С-Пб.: Гидрометеизд, 1999. - 206 с.
6. Физика и механика льда: пер. с англ. / под ред. П. Трюде. М.: Мир, 1983. 352 с. [Physics and Mechanics of Ice. Symposium Copenhagen, August, 1979, Technical University of Denmark / P. Tryde, ed. Springer Berlin Heidelberg, 1980.].
7. Требования к противогололедным материалам: ОДН 218.2.027-2003: утв. Минтранс России 16.06.03 № ОС-548-р. – Изд. офиц. – М.: Росавтодор, 2003. – 21 с. – (Отраслевые дорожные нормы).
8. Blackburn R.J. Physical alternatives to chemicals for Highway Deicing. - Transp. Rea. Board Spec. Rept., 2009, N185.
9. М.В. Дудкин, Г.А. Гурьянов, А.И. Ким, **А.Б. Бугаев** и др. Отчет о научно-исследовательской работе по теме № АР05130746 «Механизированный комплекс для очистки дорог и тротуаров в зимнее время» (промежуточный. № госрегистрации 0118РК00783, инв. № 0218РК01280, МРНТИ 55.03.14, УДК 69.002.5+625.76.08+624.144.5. – Усть-Каменогорск, ВКГТУ, 2018. – 155 С.
10. Машины для содержания и ремонта городских и автомобильных дорог: Уч. пособие для вузов по дисциплине «Дорожные машины» / В.И. Баловнев, М.А. Беляев и др.; Под общ.ред. В.И. Баловнева. – 2-е изд., дополн. и перераб. – Москва-Омск: ОАО «Омский дом печати», 2005. – 768 с.
11. A.I. Kim, M.V. Dudkin, G.A. Guryanov. An equipment for ice destruction on road and sidewalk surfaces: theory and experiment (monograph). - Ust-Kamenogorsk, EKSTU, 2020. -289 p. ISBN 978-601-208-716-1
12. Гусев Л.М. Борьба со скользкостью городских дорог / Л.М. Гусев. – М. : Стройиздат, 1984. – 87 с.
13. Ганжа В.А. Обоснование конструкции и основных параметров дискового режущего инструмента для разрушения снежно-ледяных образований: автореферат дис. ... кандидата технических наук: 05.05.04 / Ганжа Владимир Александрович; [Место защиты: Сибирский федеральный университет]. – Красноярск, 2011. - 24 с.

14. Пуртов А.Р. Выбор конструктивных параметров рабочего органа для удаления снежных накатов и льда с бетонных покрытий: дис. ... кандидата технических наук : 05.05.04 / Пуртов Андрей Робертович; [Место защиты: Нижегородский гос. техн. ун-т].–Нижегород, 2002. - 236 с.
15. Черняевский М.В. Разработка методики выбора рациональных параметров специального рабочего органа ударного действия льдоуборочной машины: автореферат дис. ... к.т.н.: 05.05.04 / Нижегородский гос. техн. ун-т. – Нижний Новгород, 2005. - 21 с.
16. Коробов И.Б. Методика выбора конструктивных параметров вибрационного рабочего органа для разрушения льда на поверхности дорог: автореферат дис. ... кандидата технических наук : 05.05.04 / Коробов Илья Борисович; [Место защиты: Нижегородский гос. техн. ун-т].–Нижний Новгород, 2005. - 23 с.
17. Кустарев Г.В., Ким А.И., Дудкин М.В., Гурьянов Г.А. и др. Разработка рабочего оборудования для очистки дорог и тротуаров от снежно-ледяных образований. «Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ)», Выпуск 2 (69), апрель-июнь, 2022 г. М.: МАДИ. – С. 60 – 65.
18. Баловнев В.И., Бакатин Ю.П., Ермилов А.Б. и др. Рабочий орган для удаления льда и уплотненного снега с дорожных покрытий. А.с. СССР № 1254080. Оpubл. 30.08.1986, бюл. № 32
19. Баловнев В.И., Бакатин Ю.П., Ермилов А.Б., Лончаков О.Д. Устройство для борьбы со снежно-ледяными образованиями. А.с. СССР № 1418396. Оpubл. 23.08.1988, бюл. № 31.
20. А.Б. Ермилов, И.А. Стригин, И.П. Басанцев. Рабочий орган для разрушения льда на автодорогах. SU №1559034, 23.04.1990, бюл. №15. – 3 с.
21. Ермилов А.Б., Бобров К.И., Русинов М.Н. Рабочий орган для разрушения ледяных образований на дорогах и тротуарах. Патент РФ № 2022080 E01H 5/12. Публикация патента: 30.10.1994. – 4 с.
22. Ермилов А.Б., Басанцев И.П. Скалыватель снежно-ледяных накатов. Ас. СССР № 1428786. Оpubл. 07.10.1988. бюл. № 37
23. Воскресенский Г.Г. Научные основы проектирования рабочего оборудования для разрушения уплотненного снега на автомобильных дорогах: дис. ... доктора технических наук : 05.05.04 / ГОУВПО «Тихоокеанский государственный университет.– Хабаровск, 2011. - 301 с.
24. Полезная модель №50550 Рабочий орган льдоуборочной машины/ Молев Ю И, Черняевский М.В - Оpubл в Бюл №2 от 20.01.2006
25. Полезная модель №51040 Устройство для разрушения льда на дорожном покрытии/ Коробов И Б , Молев Ю И - Оpubл в Бюл №3, 27.01.2006
26. Бахолдин А.Ю., Абдеев Б.М., Дудкин М.В., Гурьянов Г.А. Рабочий орган для разрушения льда на автодорогах. Патент РК № 27060. E01H 5/12. Опубликовано 14.06.2013. Бюллетень № 6. – 7 с.

27. Гурьянов Г.А., Дудкин М.В., Сергеев А.С., Краснобаев Р.В. Рабочий орган для разрушения льда на автодорогах. Инновационный патент РК 19930. МПК E01H 5/12. Опубл. 15.08.2008, бюл. № 8. – 4 с.
28. Гурьянов Г.А., Дудкин М.В., Сергеев А.С., Краснобаев Р.В. Рабочий орган для разрушения льда на автодорогах. Иннов. патент РК 19931. МПК E01H 5/12. Опубл. 15.08.2008, бюл. № 8. – 5 с.
29. Гурьянов Г.А., Дудкин М.В., Гульчеев А.Е., Рахимбердинова М. Рабочий орган для разрушения льда на автодорогах. Инновационный патент РК 23188. МПК E01H 5/12. Опубл. 15.11.2010, бюл. № 11
30. Гурьянов Г.А., Дудкин М.В., Смурыгин А.В. Рабочий орган для разрушения льда на автодорогах. Инновационный патент РК № 23190 МПК E01H 5/12. Заявка № 009/1307.1; Опубл. 15.11.2010, бюл. № 11. – 4 с.
31. Гурьянов Г.А., Дудкин М.В., Бахолдин А.Ю., Абдеев Б.М. Рабочий орган для разрушения льда на автодорогах. Инновационный патент РК 27059. МПК E01H 5/12. Опубл. 14.06.2013, бюл. № 6. – 4 с.
32. Гурьянов Г.А., Дудкин М.В., Вавилов А.В., Абдеев Б.М., Клименко Е.А. Способ разрушения снежно-ледяных образований на дорожных покрытиях. Патент Республики Казахстан на изобретение №31910, бюл. №5 от 15.03.2017 г.
33. Kim A.I., Dudkin M.V., Guryanov G.A., Eleukenov M.T, Mlynchak M., **Bugaev A.B.**, Kadyrov Z.N. Working element of machine for removing layers of snow and ice from road surfaces. Patent Number: WO2020071891-A1. Main IPC E01H-005/12. Publ. Date 09 Apr 2020. Week 202033. Pages: 10. Application Details: WOKZ000005. Derwent Primary Accession Number: 2020-276120. – 6 s.
34. Назаровский А.А. Исследование процессов фрезерования льда концевой фрезой со встроенным шнековым транспортером: Дис. канд. тех. наук 05.05.03. - Горький, 1972, 256 с.
35. Янкович А.В. Совершенствование конструкции и параметров движителя фрезерных ледорезных машин: Дисс. канд. техн. наук. 05.05.04. - Н. Новгород, 1984. – 186 с.
36. Строганова О.С. Моделирование механизмов взаимодействия конструкций и сред со сложной реологией: дис. ... кандидата технических наук: 01.02.04 / Строганова Ольга Сергеевна; [Место защиты: Санкт-Петербургский государственный морской технический университет]. – С.-Петербург, 2015. - 153 с.
37. Кадыров А. С., Бахриденов А. Б., Эрих Е.В. Разработка машины для скалывания льда, вальцевой льдоскалыватель. Международный научно-исследовательский журнал, Выпуск № 3-2 (22), 2014. – С. 9-11.
38. Кулимбетов А.Т., Тәшен С.Т. Устройство для скалывания льда и уплотненного снега с тротуаров. Инновационный патент РК № 29290. МПК: E01H 5/00. Опубликовано 15.12.2014, бюл. № 12.
39. Шиликбаева А.С., Шиликбаев С.К., Шиликбаев У.С. Способ ликвидации снежно-ледяных отложений. Инновационный патент РК № 24876. МПК: C09K 3/18. Опубликовано 15.11.2011, бюл. № 11.

40. Молдабек А.М., Молдабек М.О. Каток для скалывания снежно-ледяных образований с дорожных поверхностей. Предварительный патент РК №11209. МПК: E01H 5/12. Опубликовано 17.11.2014, бюл. № 11.
41. Киялбаев А.К., Телтаев Б.Б., Сарсембаев Б.К., Биттеев Ш.Б., Сарсембаева А.С. Прибор для измерения силы сцепления между снежно-ледяным образованием и дорожным покрытием. Предварительный патент РК №17923. МПК: E01H 5/00, G01L 1/04. Опубликовано 16.10.2006, бюл. № 10.
42. Карабан, Г. Л. Комплексная технология снегоочистки городских дорог / Г. Л.Карабан, Б. А.Лифшиц, В. Б. Ратинов М.: Стройиздат, 1990. - 156 с.
43. Калужский, Я. А. Повышение безопасности движения средствами дорожно-эксплуатационной службы / Я. А. Калужский, В. М. Кисляков, И. В. Бегма. – М. : Транспорт, 1991. – 147 с.
44. Дудкин М.В., Пичугин С.Ю., Фадеев С.Н. Методика разрушения ледяного покрытия на автомобильных дорогах рабочим органом ударного действия. Новости науки Казахстана. № 3(125). 2015. – С. 177-191.
45. М.В. Дудкин, А.В. Вавилов, Г.А. Гурьянов, А.И. Ким, **А.Б. Бугаев** и др. Отчет о научно-исследовательской работе по теме № AP05130746 «Механизированный комплекс для очистки дорог и тротуаров в зимнее время» (заключительный). № госрегистрации 0118РК00783, инв. № 0220РК00926, МРНТИ 55.03.14, УДК 69.002.5+625.76.08+624.144.5. – Усть-Каменогорск, ВКГУ, 2020. – 182 С.
46. Кралин А.К., Шаймухаметов С.А. Возникновение зимней скользкости дорог и свойства льда. Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Выпуск 2016-6 (122). – Макеевка: ДонНАСА, 2016. – С.115-121
47. Сладкова Л.А., Кузнецов А.В. Лед как объект разрушения и способы его разрушения // Гуманитарный вестник ВА РВСН. 2016. № 4. - С. 157-164.
rut-miit.ru/content/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C...%8F.pdf?id_wm=778118
48. Михайлов С. Н. Борьба с зимней скользкостью на автомобильных дорогах: сборник трудов конференции. // материалы IV Междунар. науч.–практ. конф. Т. 1 / – Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс», 2017. – Т. 1, №4. – С. 305-306. <https://studfile.net/preview/3864607/page:21/>
49. Е.В. Жустарёва, В.И. Бочкарев, В.В. Ушаков и др. Зимнее содержание автомобильных дорог. – М.: МАДИ, 2021. – 72 с.
50. Гурьянов Г.А., Абдеев Б.М. Прикладная модель измельчения шарообразной твердой частицы прямым ударом о недеформируемую плоскую поверхность // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. - 2020. - №1. - С. 32-42. doi: 10.15593/perm.mech/2020.1.03
51. Сулейманов Р.Я., Демкин Л.А. Рабочий орган машины для скалывания льда. Патент RU № 2265104. Опубликовано 27.11.2005. Бюллетень № 33. – 4 с.

52. Лехтман В.Д., Даниленко Н.В. Рабочий орган для очистки дорожных покрытий ото льда. А.с. SU № 1765275, E01H 5/12, опубл. 30.09.1992. Бюл. № 36. – 3 с.
53. Желукевич Р.Б., Лысянников А.В., Безбородов Ю.Н., Ганжа В.А., Кайзер Ю.Ф. Устройство для разрушения снежно-ледяных образований на дорожных покрытиях. Евразийский патент № 020422. E01H 5/12. 30.10.2012г. Дата публикации и выдачи патента 28.11.2014. - 4 с.
54. Желукевич Р.Б., Лысянников А.В., Безбородов Ю.Н., Ганжа В.А., Кайзер Ю.Ф. Устройство для разрушения снежно-ледяных образований на дорожных покрытиях. Патент RU № 2463407. E01H 5/12. Публикация патента: 10.10.2012, бюл. № 28.
55. Дудкин М.В., Гурьянов Г.А., Ким-Вайнбергер А.И., Вавилов А.В., Фадеев С.Н. Секционная цилиндрическая щетка для дробления и уборки льда. Патент РК № 32089. E01H 5/12. Опубл. 30.05.2017. Бюллетень № 10. – 5с.
56. Дудкин М.В., Гурьянов Г.А., Ким-Вайнбергер А.И., Вавилов А.В., Фадеев С.Н. Цилиндрическая щетка для уборки льда. Патент РК № 32090. E01H 5/12. Опубликовано 30.05.2017. Бюллетень № 10.
57. Горб Г.Д. Рабочий орган льдоскалывающей машины. А.с. СССР № 1677155. E01H 5/12. Опубликовано 15.09.1991. Бюллетень № 34
58. Павлов Г.П. Рабочий орган льдоскалывающей машины. А.с. СССР № 1430445. E01H 5/12. Опубликовано 15.10.1988. Бюллетень № 38. – 2 с.
59. Гурьянов Г.А., Дудкин М.В., Рахимбердинова М.У., Емельянов Р.С. Рабочий орган для разрушения льда на автодорогах. Патент РК № 23189. E01H 5/12. Опубликовано 15.11.2010. Бюллетень № 11. – 4 с.
60. Стихановский Б.Н. Очиститель снежно-ледяной поверхности. Патент RU № 2474641. E01H 5/12. Опубликовано: 10.02.2013. – 5 с.
61. Дудкин М.В., Гурьянов Г.А., Фадеев С.Н., Ким А.И. Рабочий орган для разрушения льда на автодорогах. Инновационный патент РК 29156. МПК E01H 5/12. Опубл. 17.11.2014, бюл. № 11.
62. Мишанин И.Н., Пучков Ю.М., Мишанин М.И. Устройство для скалывания льда с дорог. А.с. СССР № 1768698. E01H 5/12. Опубликовано 15.10.1992. Бюллетень № 38.
63. Соломонов С.А., Степанов Ю.В., Расходчиков Ю.Д. Рабочий орган для скалывания льда. А.с. СССР № 1544865. E01H 5/12. Опубликовано 23.02.1990. Бюллетень № 7.
64. Комаров Б.И., Ковальский К.Ф., Коротков С.В., Бобилов Н.Ф., Пукенец И.К. Устройство для разрушения льда на дорогах. А.с. СССР № 1280080. E01H 5/12. Опубликовано 30.12.1986. Бюллетень № 48.
65. Пукенец И.К., Ковальский К.Ф., Комаров Б.И., Клопунов С.В. Устройство для разрушения льда на дорогах. А.с. СССР № 894043. E01H 5/12. Опубликовано 30.12.1981. Бюллетень № 48.
66. Коган Э.Э. Устройство для скалывания льда. А.с. СССР № 1183598. E01H 5/12. Опубликовано 07.10.1985. Бюллетень № 37.

67. Зимин А.И. Рабочий орган льдоскалывающей машины. А.с. СССР № 681145. E01H 5/12. Опубликовано 25.08.1979, бюллетень № 31.
68. Григорьев А.Д., Иванцев В.С., Назаров А.М., Сорокин А.В., Фролов С.В. Рабочий орган для разрушения льда на дорогах. А.С. СССР № 962422. E01H 5/12. Опубликовано 30.09.1982, бюллетень № 36.
69. Кибалко В.Ф. Устройство для скалывания льда. Патент РФ № 1474210. E01H 5/12. Опубликовано 23.04.1989, бюл. № 15.
70. Alina Kim, Georgy Guryanov, Andrey Vavilov, **Andrey Bugayev**, Yelena Doudkina. Development of Mounted Impact-Rotor Working Equipment for Destruction of Snow-Ice Formations. International Review of Mechanical Engineering (IREME). Vol 15, No 5 (2021). 258-267. Процентиль 55 за 2021г. DOI: <https://doi.org/10.15866/ireme.v15i5.20805>
71. A. Kim, G. Guryanov, M. Mlynczak, M. Eleukenov, **A. Bugaev**, V. Rogovsky. Process modeling and experimental verification of the conditions of ice coverage destruction of automobile roads. Journal of Mechanical Engineering Research and Developments (JMERD), 2019, 42(4): 01-08. DOI: <http://doi.org/10.26480/jmerd.04.2019.01.08>
72. Г.А. Гурьянов, М.В. Дудкин, А.В. Вавилов, А.И. Ким. Начальные экспериментальные исследования процесса разрушения ударом льда на твердом покрытии дорог. Вестник ВКГТУ, №2, 2018. – Усть-Каменогорск: ВКГТУ. – 2018. – С. 99-105.
73. М.В. Дудкин, Г.А. Гурьянов, А.И. Ким, **А.Б. Бугаев** и др. Отчет о научно-исследовательской работе по теме № АР05130746 «Механизированный комплекс для очистки дорог и тротуаров в зимнее время» (промежуточный. № госрегистрации 0118РК00783, инв. № 0219РК01225, МРНТИ 55.03.14, УДК 69.002.5+625.76.08+624.144.5. – Усть-Каменогорск, ВКГТУ, 2019. – 222 С.
74. Г.В. Кустарев, М.Млынчак, Г.Гурьянов, А. Ким, **А.Бугаев**, М.Елеукинов. Моделирование условий разрушения ледового покрытия автомобильных дорог без повреждения их несущего покрытия. Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ), № 1 (60) 2020, - С. 62-72 <http://www.madi.ru/4296-vestnik-moskovskogo-avtomobilno-dorozhnogo-gosudarstvennogo.html>
75. Штаерман И.Ф. Контактная задача теории упругости. - М., Л.: Гостехиздат, 1949. – 270 с.
76. Тимошенко С.П., Гудьер Дж. Теория упругости. Пер. с англ. М.И. Рейтмана, под ред. Г.С. Шапиро. - М.: Наука, 1975. - 576 с.
77. Boussinesq I. Application des Potentiels a l'Etude l'Equilibre et du Mouvement des Solides Elastition. - Gauthier-Villars, Paris, (Ed. 1885, Paris: Gauthier-Villars). Hachette Livre BNF (1 décembre 2018) – 725 s.
78. Филин Л.П. Прикладная механика твердого деформируемого тела. Том 1. - М: Наука, 1975. – 832 с.
79. Куляшов, А.П., Молев, Ю.И., Шапкин, В.А. Зимнее содержание дорог / НГТУ. – изд.2, испр. и доп. – Нижний Новгород. 2012. – 369 с. (с. 157,

178). fdp.nntu.ru/books/Zimnee%20soderjanie%20dorog/file...ic-html/page178.htm

80. Физика и механика льда: пер. с англ. / под ред. П. Трюде. М.: Мир, 1983. 352 с. [Phys-ics and Mechanics of Ice. Symposium Copenhagen, August 6-10, 1979, Technical University of Denmark / P. Tryde, ed. SpringerBerlinHeidelberg, 1980. DOI: 10.1007/978-3-642-81434-1].

81. Б.М. Абдеев, Г.А. Гурьянов. Вдавливание неподвижного сферического штампа в упругодеформируемое двуслойное пространство с жестким основанием. Вестник ВКТУ, №2 (60), 2013. – Усть-Каменогорск: ВКТУ. – С. 15-24.

82. Галин Л.А. Контактные задачи теории упругости и вязкоупругости. - М.: Наука, 1980. – 304 с.

83. Демидович Б.П., Марон И.А., Шувалова Э.З. Численные методы анализа: приближение функций, дифференциальные и интегральные уравнения. М.: Наука, 1967. – 368 с.

84. Смолянский М.Л. Таблицы неопределенных интегралов. - М.: Наука, 1965. – 112 с.

85. Жемочкин Б.М. Теория упругости. - М.: Госстройиздат, 1957. – 256 с.

86. Г.А. Гурьянов, Б.М. Абдеев. Моделирование взаимодействия рабочего органа для разрушения снежно-ледяного образования. «Наука и техника в дорожной отрасли», № 3 (73) – 2015. – М.: «Дороги».– С. 24 – 27.

87. Herz H.R. Die Prinzipien der Mechanik. T.1. Leipzig, J.A. Barth, 1894. – 312 s.

88. Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.В. Справочник по сопротивлению материалов. Киев: Изд-во «Наукова думка», 1975. – 704 с.

89. Е.В. Веюков, М.Г. Салихов, Р.Р. Шигапов. Установка для определения сил сцепления льда с поверхностями покрытий автомобильных дорог. Transport facilities. Ecology, No.1. Поволжский государственный технологический университет. - Йошкар-Ола, 2018. – С. 32-38.

90. Баловнев В.И. Подобие и моделирование в системе проектирования дорожно-строительных машин. Учебное пособие. – М.: МАДИ, 2014. – 148 с.

91. Пономарев С.Д., Бидерман В.Л., Лихарев К.К. и др. Расчеты на прочность в машиностроении. Том 2. / Под ред. д-ра техн. наук, проф. С.Д. Пономарева. - М.: Машгиз, 1958. - 976 с.

92. Прибор неразрушающего контроля плотномер динамический ПДУ-МГ4. Сайт специального конструкторского бюро СКБ «Стройприбор». <http://www.stroypribor.com/plotnomer-gruntov-dinamicheskij-pdu-mg4-udar.html>

93. Адгезиметр Elcometer 106. Сайт компании ООО НТЦ «Эксперт». – 12 с. <http://www.ntcexpert.ru/vic/adgezimetry/1294-adgezimetr-elcometer-106>

94. Вавилов А.В., Дудкин М.В., Гурьянов Г.А., Абдеев Б.М., Клименко Е.А. Способ разрушения снежно-ледяных образований на

дорожных покрытиях. Патент Республики Казахстан на изобретение №31910, бюл. №5 от 15.03.2017 г.

95. Петров И.Г. Выбор наиболее вероятных значений механических характеристик льда: Труды ААНИИ. - С-Пб.: Гидрометеозит, 1996. - 141 с.

96. Семёнов С.В., **Бугаев А.Б.**, Аукенова Б.К., А.И. Ким. Опытнo-промышленный образец льдоскалывателя в реальных (промышленных) условиях эксплуатации. Труды МНПОК «Интеграция науки, образования и производства – основа реализации Плана нации» (Сагиновские чтения №12), 18-19 июня 2020 г. Часть 2/МОН РК. - Караганда: КарГТУ, 2020. – С. 356-358.

97. Alina Kim, Georgy Guryanov, Andrey Vavilov, **Andrey Bugayev**, Yelena Doudkina. Development of Mounted Impact-Rotor Working Equipment for Destruction of Snow-Ice Formations. International Review of Mechanical Engineering (IREME). Vol 15, No 5 (2021). 258-267. DOI: <https://doi.org/10.15866/ireme.v15i5.20805>

98. **Бугаев А.Б.**, Васильева О.Ю., Гурьянов Г.А., Дудкин М.В., Молдаханов Б.А. Разрушение дорожного льда сферическим бойком. Труды университета. – Караганда: КарТУ, 2024. – 9 с.

99. Абдеев Б.М., Байгереев С.Р., Гурьянов Г.А. Обобщенная динамическая теория измельчения частицы твердого вещества импульсно-силовым сжатием двумя недеформируемыми шарами // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. – 2018. – № 4. – С. 278-289. DOI: 10.15593/perm.mech/2018.4.25

100. Гурьянов Г.А., Вавилов А.В., Байгереев С.Р., Васильева О.Ю., Ликунов А.В. Установление зависимости между параметрами ударного рабочего органа для разрушения льда на автодорогах с учетом характеристик льда. Труды университета №1 (86), 2022. – Караганда: КарТУ, 2022. – С. 182-188.

101. Лабковская Р.Я. Методы и устройства испытаний ЭВС. Часть 1. Учебное пособие. – СПб: Университет ИТМО, 2015. – 164 с.

102. Режимы стендовых испытаний. [Экология - Справочник - Статьи](https://ru-ecology.info/blog/4/). <https://ru-ecology.info/blog/4/>

103. Скорина С.Ф. Испытания изделий авиационной, ракетной и космической техники. – СПб: ГУАП, 2017. – 137 с.

104. Ю.А. Пикалов, В.С. Секацкий. Организация и технология испытаний. Учебно-методическое пособие [Электронный ресурс] – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2013. – 254 с. – Windows 98/XP/7; Adobe Reader V8.0 и выше. – Загл. с экрана moodle.nirhtu.ru/mod/resource/view.php?id=12690

105. Тимошенко С.П. Прочность и колебания элементов конструкций. Избранные работы / Под ред. Э.И. Григолюка. - М.: Наука, 1975. – 704 с.

106. Дьячков, Ю.А. Моделирование систем автомобилестроения: учебное пособие / Ю. А. Дьячков, М. А. Черемшанов. – Пенза: ПГУ, 2009. – 240 с.

107. Баловнев, В.И. Моделирование и прогнозирование процессов взаимодействия машин с многофазными средами: учеб. пособие / МАДИ (ГТУ). – М., 2000. – 62 с.
108. Штерензон В. А. Моделирование технологических процессов: конспект лекций / Екатеринбург: Рос. гос. проф.-пед. ун-т, 2010. -66 с.
109. Советов Б. Я. Моделирование систем: учебник для вузов / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев. 3-е изд., доп. -Москва: Высшая школа, 2001. -343 с.
110. Сертификационные испытания: Конспект лекций / Т.В. Старкова. Самарский государственный технический университет. - Самара, 2008. - 13 с.
111. ГОСТ 28215-89. Основные методы испытаний на воздействие внешних факторов. Часть 2. Испытания. Испытание ЕЬ и руководство: многократные удары. Межгосударственный стандарт. Издание официальное. Стандартиформ. - Москва, 2008. – 11 с.
112. СТ РК АСТМ А 370-2011. Техническое испытание стальных изделий. Стандартный метод и определения. - Астана, 2012. – 83 с.
113. Гиясов Б.И., Серегин Н.Г., Серегин Д.Н., Беяков В.А. Стендовые ускоренные испытания технических систем на надежность: Учеб. пособие. – М.: Издательство АСВ, 2017. – 74 с.
114. ГОСТ Р 51372-99. Методы ускоренных испытаний на долговечность и сохраняемость при воздействии агрессивных и других специальных сред для технических изделий, материалов и систем материалов. Общие положения. Издание официальное. ГОССТАНДАРТ РФ. - Москва, 1999. – 58 с.
115. Щетка МКЩ-1,5. Каталог сайта ООО «БЕЛРУСАГРОТЕХНИКА» <http://www.belrusagro.com/techno/catalog/701/3422/> -16 с.
116. Бижанов Т.С., Роговский В.В. Выбор базовой машины для экспериментальных исследований опытно-промышленного образца льдоскалывателя в реальных дорожных условиях. «Творчество молодых – инновационному развитию Казахстана» материалы VI Международной научно-технической конференции студентов, магистрантов и молодых ученых, 9, 10 апреля. – Усть-Каменогорск: ВКТУ, 2020. – С. 132-136
117. Молдаханов Б.А., Жанабаева М.О., Семенов С.В., Дудкин М.В. Экспериментальная проверка опытного образца льдоскалывателя в реальных дорожных условиях. «Творчество молодых – инновационному развитию Казахстана» материалы VI Международной научно-технической конференции студентов, магистрантов и молодых ученых, 9, 10 апреля. – Усть-Каменогорск: ВКТУ, 2020. – С. 111-116
118. Дудкин М.В., Бугаев А.Б., Аукенова Б.К. Льдоскалывающая машина с комбинированным рабочим органом. Труды МНПОК «Интеграция науки, образования и производства – основа реализации Плана нации» (Сагиновские чтения №12), 18-19 июня 2020 г. Часть 2/МОН РК. - Караганда: КарГТУ, 2020. – С. 312-314
119. Млынчак М., Дудкин М.В., Ким А.И., Дудкина Е.Л., Хон Н.В. Определение экономической эффективности результатов проекта AP05130653

«Механизированный комплекс для очистки дорог и тротуаров в зимнее время». Вестник ВКГТУ, № 1 (87), 2020. – Усть-Каменогорск. – С. 157-163

120. Войтковский К.Ф. Механические свойства льда. М.: Изд-во АН СССР, 1990 – 5 с.

121. Дудкин М.В., Ким А.И., **Бугаев А.Б.**, Елеуменов М.Т., Дудкина Е.Л., Темирбеков Е.С., Бостанов Б.О., Кадыров Ж.Н. Рабочий орган для разрушения льда на автодорогах. Евразийский патент. Patent Number(s): ЕА 037053-В1. Int. Cl. E01H 5/12 (2006.01). Publ. Date 2021.01.29. Бюл. № 01.

122. Дудкин М.В., Гурьянов Г.А., Ким А.И., Елеуменов М.Т., Млынчак М., **Бугаев А.Б.**, Кадыров Ж.Н. Цилиндрическая щетка для уборки льда. Изобретение РК № 34011. МПК E01H 1/02. Оpubл. 15.11.2019, бюл. № 46

123. Дудкин М.В., Ким А.И.; Гурьянов Г.А.; Елеуменов М.Т.; Млынчак Марек (PL); **Бугаев А.Б.**; Кадыров Ж.Н. Секционная цилиндрическая щётка для дробления и уборки льда. Патент РК на изобретение № 34048. МПК E01H 1/02. Оpubл. 13.12.2019, бюл. № 50

124. Дудкин М.В., Гурьянов Г.А., Ким А.И., Елеуменов М.Т., Млынчак М., **Бугаев А.Б.**, Кадыров Ж.Н. Щетка подметально-уборочной машины. Изобретение РК № 33963. МПК E01H 1/02. Оpubл. 18.10.2019, бюл. № 42

125. Дудкин М.В., Ким А.И.; Гурьянов Г.А.; Елеуменов М.Т.; Млынчак Марек (PL); **Бугаев А.Б.**; Кадыров Ж.Н. Цилиндрическая щётка для очистки поверхностей. Патент РК на изобретение №34067. МПК E01H 5/12. Оpubл. 20.12.2019. бюл. № 51

126. Дудкин М.В., Ким А.И., **Бугаев А.Б.**, Елеуменов М.Т., Дудкина Е.Л., Темирбеков Е.С., Бостанов Б.О., Роговский В.В., Кадыров Ж.Н. Рабочий орган для разрушения уплотнённой среды на дорожном покрытии. Патент РК на изобретение № 34377, МПК E01H 5/12; опубл. 05.06.2020, бюлл. № 22

127. Ким А.И.; Елеуменов М.Т.; Дудкин М.В.; Темирбеков Е.С.; Роговский В.В.; Бостанов Б.О.; **Бугаев А.Б.**; Кадыров Ж.Н.; Дудкина Е.Л. Устройство для разрушения снежно-ледяных образований на дорожных покрытиях. Патент РК на изобретение № 34424, МПК E01H 5/12; 26.06.2020, бюлл. № 25

128. Оборудование для уборки льда и снега. – У-Ка: сайт ТОО «НПО Иннотех», 2024. <https://innoteh.kz/oborudovanie-dlya-uborki-lda-i-snega>

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Технология серийного производства сменных рабочих секций льдоскалывателя с ударниками

Объекты производства

Объект производства – комплекты рабочих органов ударного действия – сменные секции с бойками (ССБ) для разрушения и удаления льда с покрытий дорог и тротуаров, устанавливаемые вместо щеточных рабочих органов на валу подметально-уборочного навесного оборудования к базовой машине (колесному трактору).

Основным элементом ударных секций являются ударники (бойки) сферической, кубической или иной формы, закрепленные на вращающейся гибкой связи (тяге) в виде цепей или отрезков из отходов отработанных стальных канатов, связанной с центральным кольцом, которое одевается вместо щеточного рабочего органа на подметально-уборочное навесное оборудование.

Номенклатура изделий – комплекты сменных секций (один комплект – до 35 ударных секций) для установки вместо подметально-уборочных щеточных рабочих органов на навесном оборудовании к колесному трактору.

Основные элементы рабочего органа ударного действия – ударные секции с бойками и оборудование в сборе показаны на рисунках 1, 2, 3.

Технические требования к продукции (сменным секциям с бойками - ССБ)

Сменная секция должна соответствовать настоящим техническим требованиям и характеристикам.

1) Диаметр по концам бойков (максимальный) $D=455...465$ мм. Разница между радиусами до конца каждого бойка должна составлять не более 5 мм.

2) Внутренний диаметр центрального кольца (внешний посадочный размер) $d1=119...121$ мм.

3) Диаметр по внутренней поверхности упоров (внутренний посадочный диаметр) $d2=103...107$ мм.

4) Для изготовления ССБ используют следующий сортамент материалов:

а) Квадрат $\frac{38 - \text{В ГОСТ 2591} - 88}{\text{Сталь 10 ГОСТ 1051} - 73}$ или Квадрат $\frac{40 - \text{В ГОСТ 2591} - 88}{\text{Сталь 10 ГОСТ 1050} - 73}$.

Материал бойка - сталь углеродистая качественная от Сталь 10 до Сталь 35 по ГОСТ 1050-88 с хорошей свариваемостью.

б) Труба $\frac{133 \times 6 \text{ ГОСТ 8732} - 78}{\text{Б 10 ГОСТ 8731} - 74}$ или Труба $\frac{130 \times 5 \text{ ГОСТ 8734} - 75}{\text{Б 10 ГОСТ 8733} - 74}$

в) Круг $\frac{8 - \text{В ГОСТ 2590} - 88}{\text{Б 10 ГОСТ 1051} - 73}$.

г) Цепь А1-6×18,5 ГОСТ 2319-81.

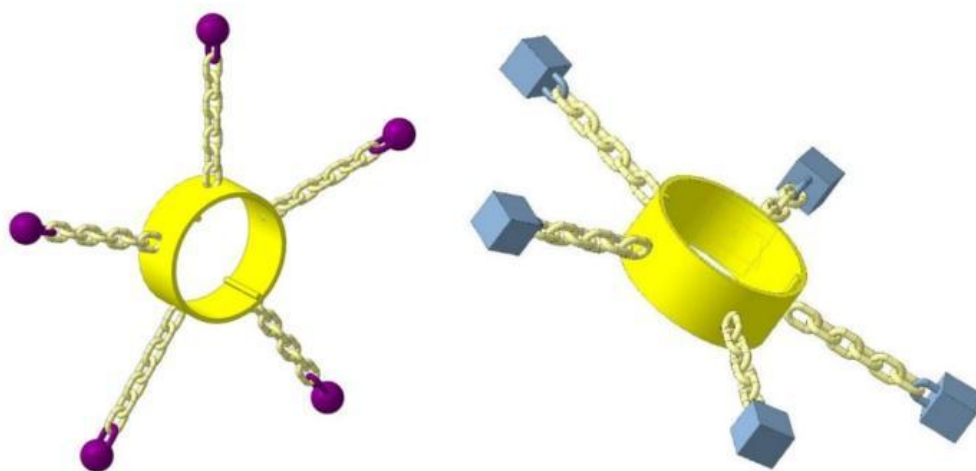
5) Термообработка ударников (бойков) - закалка поверхности на глубину до 2 мм до твердости не менее 65-70 HRC.

6) Сварка элементов ССБ между собой по ГОСТ 14771-76 или по ГОСТ 5264-80.

7) Окраска ССБ в цвета – ярко-желтый, оранжевый, красный по ГОСТ 9.402-2004.

Расход сырья: Квадрат – 5,5...6 м/см (1430...1560 м/год); Труба – 1,6...1,7 м/см (416...442 м/год); Круг – 4,7...4,8 м/см (1222...1248 м/год); Цепь - 21...21,5 м/см (5460...5590 м/год) при Пгод=200...208 компл./год.

Масса 1 погонного метра материала каждого вида зависит от его размеров и приводится в нормативно-технической документации на материал или в справочниках.



1 - кольцо; 2 – тяга (цепь); 3 - сферический боск

Рисунок 1 – Ударная секция со сферическими бойками на гибкой связи

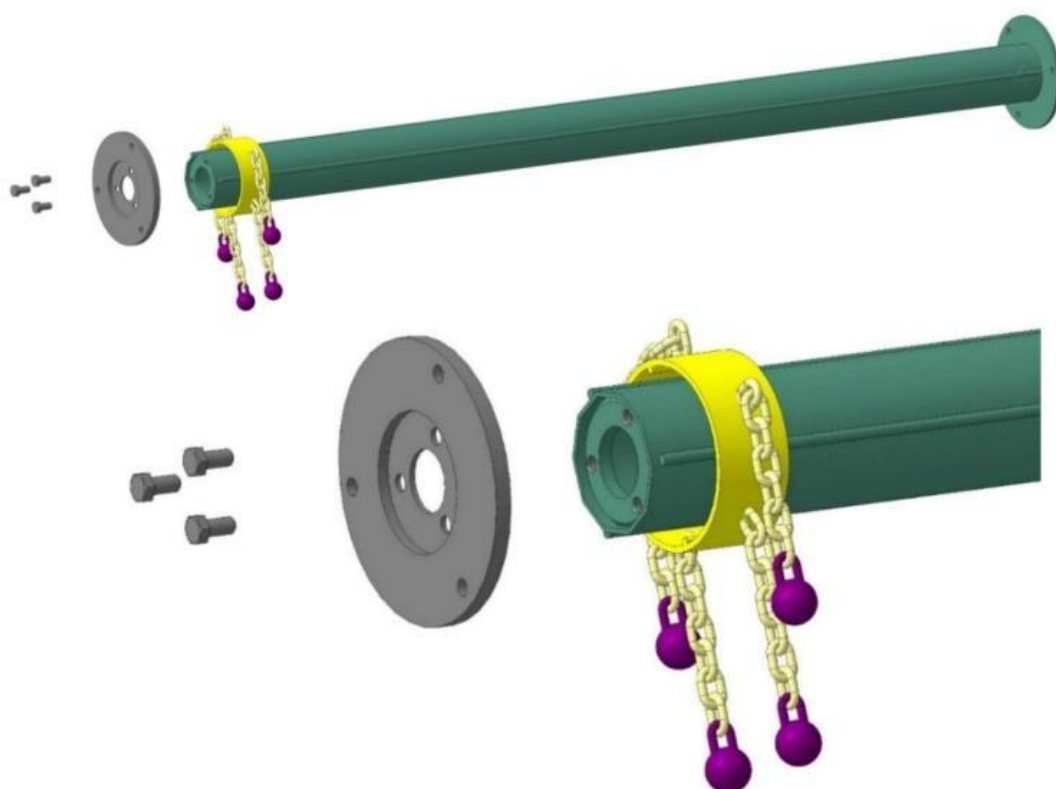


Рисунок 2- Порядок комплектования рабочего органа съемными звеньями - ССБ

В качестве изготавливаемой детали (узла) выбираем рабочий орган – сменный диск, который состоит из следующих деталей и узлов (рисунок П.1):

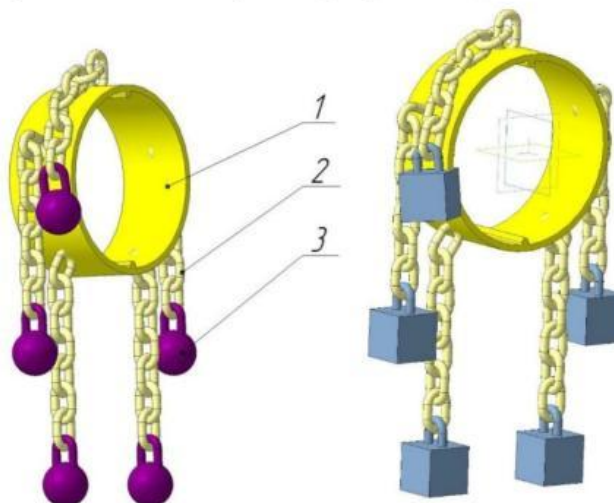


Рисунок П.1 - Диск: 1-кольцо, 2-цепь, 3-боек

1. Кольцо изготавливается из трубы ВГП 125х4 ГОСТ 3262-75 отрезанный длиной 56мм и приваренной к нему с двух сторон с внутренней стороны Проволоки 6 ГОСТ 3282-74 длиной также 56мм (рисунок П.2).

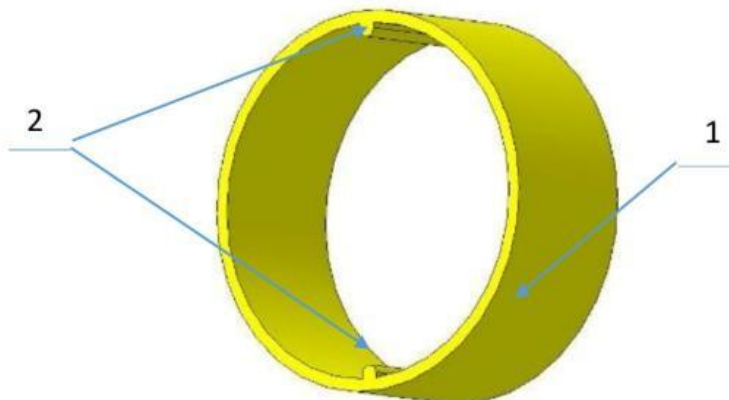


Рисунок П.2 – Кольцо: 1- труба, 2- проволока

2. К кольцу привариваются цепи с пяти сторон на равном расстоянии по кругу (рисунок П.3). Цепь А1-6х19 ГОСТ 2319-81 предварительно делится на 5 звеньев из 8 колец.

3. Боек изготавливается из Ст 5Пс ГОСТ 380-2005 на токарном станке в форме шара диаметром 32 мм.

Для изготовления диска потребуются следующие виды работ:

- 1) Отрезка проволоки $\varnothing 6$ мм длиной 56мм 60шт.
- 2) Отрезка звена цепи из 8 колец 150шт.
- 3) Отрезная на токарном станке трубы $\varnothing 125$ мм толщиной 4мм длиной 56мм 30шт.

- 4) Наточить шары на токарном станке $\varnothing 32\text{мм}$ 150шт.
- 5) Сварочная приварить проволоку и цепи к кольцу.
- 6) Слесарная (Зачистка сварочных швов)
- 7) Заключительный контроль (проверка размеров).

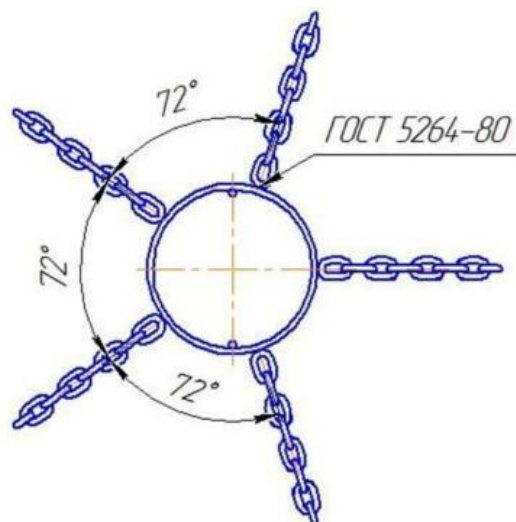


Рисунок П.3 – Цепь приваренная к кольцу.

2.2 Выбор оборудования, приспособлений и инструмента для изготовления диска

Подбираем оборудование по видам работ:

Отрезная

Пила торцовочная по металлу Bosch Professional GCO 2000

- Максимальный диаметр диска355.0 (мм);
- Максимальное количество оборотов.....3500.0 (об/мин);
- Максимальная глубина пропила.....180.0 (мм);
- Максимальная ширина пропила25.4 (мм);
- Угол наклона45.0 (град.)

Токарная

Токарно-винторезный станок 16K20

- наибольший диаметр заготовки, мм.....	53
над станиной, мм.....	400
над суппортом, мм.....	220
- наибольшая длина обрабатываемой заготовки, мм.....	710
- частота вращения шпинделя, об/мин.....	1600
- число скоростей.....	22
- габаритные размеры	
длина, мм.....	2505-3795
ширина, мм.....	1190
высота, мм.....	1500
Масса, кг.....	2835-3685

Сварочная
Сварочный аппарат инверторный (типа САИ 250)

Класс защиты:	IP21
Диапазон регулирования сварочного тока:	10 — 250 А
Напряжение дуги:	29 В
Диапазон рабочего напряжения:	140 - 260 В
Максимальный потребляемый ток:	35 А
Сварочный ток при ПН=70%:	250 А

Слесарная
Угловая шлифмашина
Потребляемая мощность: 1300 Вт
Диаметр применяемого диска: 180 мм
Частота вращения на холостом ходу: 8000 об/мин

Выбор приспособлений и инструментов
Подбираем приспособления и инструмент по операциям:
Отрезная
Диск отрезной Металл+Нерж LUGA 355 1,6 22.23 А 40 S BF 80 2

Токарная
Резец Т15К6
Патрон трехкулачковый 7100-0002 Ø 150 мм ГОСТ 2675-80

Сварочная
Электроды МР-3 ГОСТ 9466-75
Слесарная
Диск отрезной Металл+Нерж LUGA 180 1,6 22.23 А 40 S BF 80 2, молоток

Заключительный контроль
штангенциркуль гост 166-89

Расчет затрат времени методами технического нормирования

Изготовление кусков проволоки

Разметить кусок проволоки диаметром 6 мм на длину 56 мм. Установить на зажим торцовочной пилы. Отрезать кусок. Снять, установить обратно и отрезать второй кусок, и так далее 60 шт.

Определяем норму времени T_n , мин определяем по формуле (Г.1):

$$T_n = T_o + T_B + T_{доп} + \frac{T_{п.з.}}{n}, \quad (Г.1)$$

где

T_o - основное время - 0,15мин

T_B - вспомогательное время – 1 мин

$T_{доп}$ - дополнительное время 0,2 мин

$T_{п.з.}$ - подготовительно-заклучительное время 10мин.

n – количество деталей

$$T_n = 0,15 + 1,0 + 0,2 + \frac{10}{60} \approx 1,52 \text{ мин}$$

Для 60 штук

$$T_{\text{общ1}} = T_n n = 1,52 \cdot 60 = 91,2 \text{ мин}$$

Изготовление звена цепи

Установить на зажим торцовочной пилы звено цепи. Отрезать кусок. Снять, установить обратно и отрезать второй кусок, и так далее 150 шт.

Определяем норму времени T_n , мин определяем по формуле (1)

$$T_n = 0,15 + 2,0 + 0,5 + \frac{10}{150} \approx 2,72 \text{ мин}$$

Для 150 штук

$$T_{\text{общ2}} = T_n n = 2,72 \cdot 150 = 408 \text{ мин}$$

Изготовление колец из трубы

Первый переход. Отрезка трубы $\varnothing 133$ мм на длину 56 мм. Токарно-винторезный станок 16К20. Длина обрабатываемой заготовки до 710 мм.

Принимаем 3 заготовки длиной 620 мм трубы $\varnothing 125$ мм толщиной 4 мм.

Резец отрезной шириной 6 мм с пластинами Т15К6

Припуск на обработку h , мм определяем по формуле П.2:

$$h = \frac{D - d}{2}, \quad (\text{Г.2})$$

где D – диаметр, с которого ведут обработку, мм;

d – диаметр, до которого ведут обработку, мм.

$$h = \frac{133 - 125}{2} = 4 \text{ мм}$$

Глубина резания $t = 4,0$ мм.

Число проходов 1

Подачу и скорость резания выбираем по таблице Г.1.

Диаметр заготовки 133 мм

Толщина стенки 4 мм

Ширина резца $B = 6$ мм

Время на рабочий ход $T_o = 0,92$ мин

Подача $S = 0,2$ мм/об

Скорость резания $V = 63$ м/мин

Определяем норму времени T_n , мин определяем по формуле Г.3

$$T_n = T_o + T_B + T_{\text{доп}} + \frac{T_{\text{п.з.}}}{n}, \quad (\text{Г.3})$$

где

T_o - основное время - 0,92 мин

T_B - вспомогательное время – 2 мин

$T_{\text{доп}}$ - дополнительное время 0,2 мин

$T_{\text{п.з.}}$ - подготовительно-заключительное время 10 мин.

n – количество деталей

Таблица Г.1. Нормы времени на отрезание трубы

Неполное штучное время											Токарно-винторезные станки N _д =4,5 ... 14 кВт				
ОТРЕЗАНИЕ Сталь конструкционная, углеродистая, 170 ... 210 НВ											Резцы с пластинами Т15К6				
											Карта 48		Листов 3		
Лист 2															
II Отрезание деталей с отверстием и труб															
Диаметр обрабатываемой поверхности, D, мм, до	Ширина резца, В, мм, до	Длина хода или толщина труб $\frac{D-d}{2}$										Режимы резания			
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	S ₀ , мм/об	V, м/мин	N _р , кВт	
		Время на рабочий ход, мин													
50	4	0,80	0,91	-	-	-	-	-	-	-	-	0,11	95	3,0	
75		0,86	1,00	1,20	-	-	-	-	-	-	-	0,13	90	2,9	
100	5	0,89	1,05	1,30	1,55	-	-	-	-	-	-	0,18	80	3,4	
125	6	0,92	1,10	1,40	1,65	1,80	-	-	-	-	-	0,20	63	3,4	
150		1,10	1,40	1,80	2,25	2,70	3,35	-	-	-	-	0,20	60	3,4	
175	8	1,20	1,55	2,10	2,65	3,20	3,95	4,50	5,0	-	-	0,20	62	4,1	
200	10	1,30	1,80	2,45	3,15	3,80	4,70	5,50	6,0	6,50	-	0,20	59	5,8	

$$T_n = 0,92 + 2,0 + 0,2 + \frac{10}{30} \approx 3,45 \text{ мин}$$

Для 30 штук

$$T_{\text{общ}} = T_n n = 3,45 \cdot 30 = 103,5 \text{ мин}$$

Изготовление шаров

Первый переход. Точить шары диаметром 32мм. Токарно винторезный станок 16К20. Длина обрабатываемой заготовки до 710мм.

Принимаем 10 заготовок длиной 570мм Ø 32мм.

Резец фасонный из стали Р6М5

Резец отрезной шириной 6мм с пластинами Т15К6

Подачу и скорость резания выбираем по таблице Г.2.

Диаметр заготовки 32мм

Радиус обработки 15мм

Ширина резца В=30мм

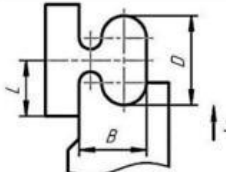
Сложный профиль

Время на рабочий ход T_о=2,7мин

Подача S = 0,035 мм/об

Скорость резания V=39м/мин

Таблица Г.2. Нормы времени на обработку фасонных поверхностей

Неполное штучное время ОБРАБОТКА ФАСОННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ (выпуклых и вогнутых) ОБРАБОТКА ФАСОК И ГАЛТЕЛЕЙ Сталь конструкционная углеродистая. 170 ... 210 НВ										Токарно-винторезные станки N _Д = 4,5 ... 14 кВт Резцы фасонные из стали Р6М5 и с пластинами Т15К6					
										Карта 73		Листов 2 Лист 1			
															
1. Фасонное точение															
Диаметр обработ ы- ваемой поверх- ности D, мм, до	Ширин а резца, В, мм, до	Простой профиль							Сложный профиль						
		Длина (радиус) обработки, L, мм, до					Режимы резания		Длина (радиус) обработки, L, мм, до					Режимы резания	
		10	15	20	25	30	S ₀ , мм/о б	V, м/ми н	10	15	20	25	30	S ₀ , мм/о б	V, м/ми н
		Время поверхность, мин							Время поверхность, мин						
25	20	1,6 0	-	-	-	-	0,05	39	1,9 0	-	-	-	-	0,03	39
60 и свыше		2,6 0	3,1 0	3,9 0	4,5 0	-	0,07	29	3,8 0	4,7 0	6,0 0	7,0 0	-	0,04	29
40	30	2,0 0	2,3 0	2,7 0	-	-	0,06	39	2,3 0	2,7 0	3,3 0	-	-	0,03 5	39
60 и свыше		2,9 0	3,5 0	4,3 0	5,0 0	6,0 0	0,06	29	4,2 0	5,0 0	6,5 0	8,0 0	9,0 0	0,03 5	29
40	40	2,2 0	2,5 0	3,1 0	-	-	0,06	39	2,5 0	2,9 0	3,6 0	-	-	0,03	39
60 и свыше		3,2 0	3,8 0	4,8 0	5,5 0	6,5 0	0,06	29	4,8 0	6,0 0	7,5 0	9,0 0	10, 5	0,03	29
60 и свыше	50	3,8 0	4,6 0	6,0 0	7,0 0	8,0 0	0,05	29	5,5 0	7,0 0	9,0 0	10, 5	12, 5	0,02 5	29

Определяем норму времени T_n , мин определяем по формуле (Г.4):

$$T_n = T_o + T_B + T_{доп} + \frac{T_{п.з.}}{n}, \quad (\text{Г.4})$$

где

T_o - основное время – 2,7мин

T_B - вспомогательное время – 3 мин

ГОСТ 3.1404 Форма 1 а

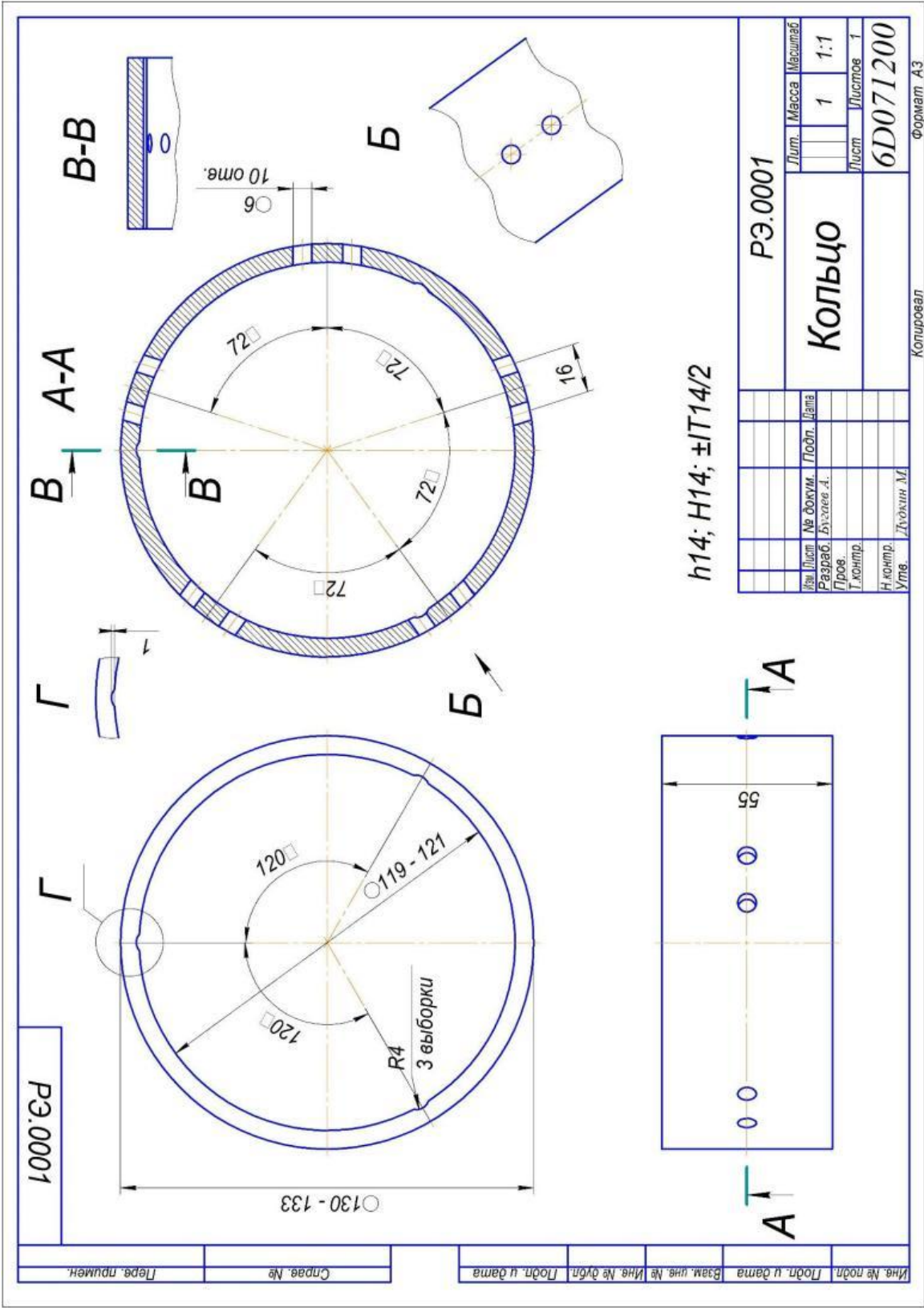
Т-09																			
Дубл.																			
Взм.																			
Подп.																			
										</									

Дубл.																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
-------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

МК

МАРШРУТНАЯ КАРТА

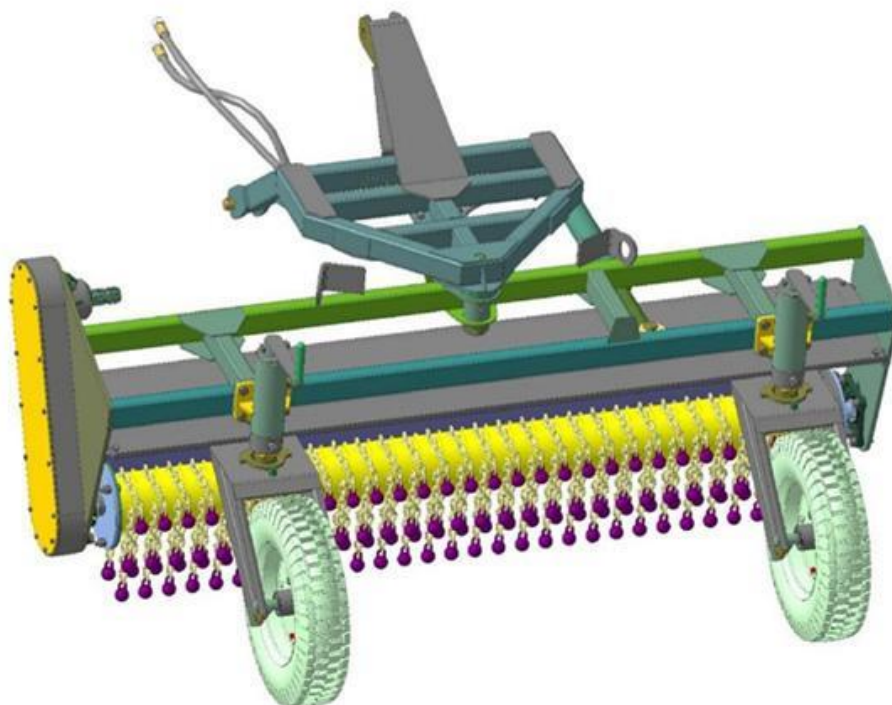
201201



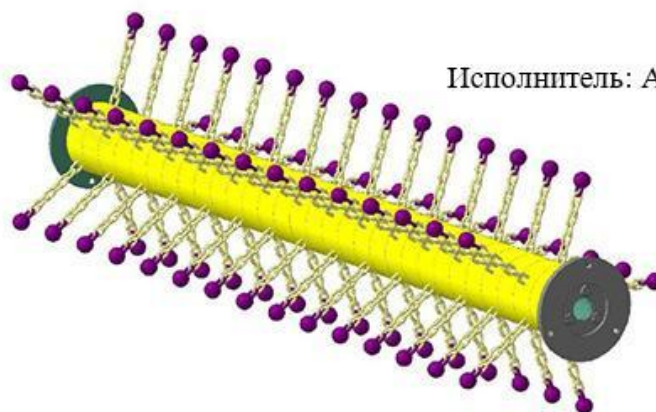
ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Техническая документация на льдоскалыватель

**ОБРАЗЕЦ ИНЕРЦИОННОГО ЛЬДОСКАЛЫВАТЕЛЯ СО
СФЕРИЧЕСКИМИ БОЙКАМИ ДЛЯ ЗИМНЕГО СОДЕРЖАНИЯ
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ И ТРОТУАРОВ**



ТЕХНИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ
Оборудование для скалывания льда ЛНУ 00.00.000



Исполнитель: А.Б. Бугаев

ВКТУ, 2024
Усть-Каменогорск

1. Основные сведения об оборудовании.

- 1.1. Наименование - Оборудование для скалывания льда ЛНУ 00.00.000.
- 1.2. Обозначение - см. таблицу № 1
- 1.3. Предприятия-изготовители – ВКГТУ им. Д.Серибаева, г.б. № 31-177-18, Wroclaw University of Science and Technology, TOO «ЮА Трансстрой», TOO «Евротехсервис»

2. Описание и работа оборудования

2.1 Назначение.

2.1.1. Оборудование для скалывания льда предназначено для очистки улиц, дорог, тротуаров и других участков ото льда и слежавшегося снега, свежавывающего неуплотненного снега и песчаных наносов уларным (инерционным) методом.

2.1.2. Оборудование должно устанавливаться на базовый трактор тягового класса, в зависимости от приобретённого исполнения, используемый в качестве энергетического средства. (см. табл. № 1).

Таблица 1

Обозначение исполнений	Наименование	Упак. места	
ЛНУ	Агрегатирование с тракторами тягового класса 0,8-1,4кН. Ширина захвата -2,0 м	6-01/9 Связка 10.016.6000-25.04С - Вал карданный	
	ЛНУ-1	Льдоскалыватель навесной уларный, облегченный -ЛНУУ	6/9 Связка 10.016.6000-25.04С - Вал карданный
	ЛНУ -2	Льдоскалыватель навесной уларный – ЛНУ-2,0	6-02/9 Связка 10.016.6000-25.04С - Вал карданный
	ЛНУ -4	Льдоскалыватель навесной уларный - ЛН454 на трактора: TS- 454, МТЗ –Вал карданный	10.016.2000-25.54С 10.016.6000-33.04С
	ЛНУ -5	Gm- 454- Вал карданный	10.016.2000-25.54С
	ЛНУ -6	ЛТЗ- Вал карданный	10.016.6000-33.04С
Агрегатирование с тракторами тягового класса 0,6-0,9кН	Льдоскалыватель навесной ЛН-1,5 на трактора: МТЗ320, TS254 - Вал карданный	Ширина захвата -1,5м	
ЛН	ЛН-1,5	Льдоскалыватель навесной ЛН-1,5 на трактора: МТЗ320, TS254 - Вал карданный	5/5 МКЦ--1,,5 10.016.6000--25.04С
	ЛН-1,5-1	Gm-254- Вал карданный	10.016.2000--25.54С
	ЛН-1 5-2	ТУ-204 - Вал карданный	

2.2. Подготовка к монтажу льдоскалывающего оборудования.

Проверить комплектность и состояние неупакованных сборочных единиц согласно комплектовочной ведомости и РЭ машины. Произвести расконсервацию оборудования, удалить смазку с наружных законсервированных частей. Разместить оборудование в зоне монтажа. Не рекомендуется длительное нахождение льдоскалывающего оборудования в положении, когда диски рабочего органа льдоскалывателя воспринимают вес конструкции (изгиб дисков).

Содержание

Введение

- 1 Основные сведения об оборудовании.
- 2 Описание и работа оборудования
- 3 Использование оборудования
- 4 Техническое обслуживание и комплектация
- 5 Хранение
- 6 Транспортирование
- 7 Смазка
- 8 Перечень сборочных единиц и требования к их эксплуатации

ВВЕДЕНИЕ

Настоящее руководство по эксплуатации на льдоскалывающее оборудование различных модификаций, включает в себя сведения, необходимые для изучения устройства и правил эксплуатации оборудования. При этом, также необходимо пользоваться техническим описанием и руководством по эксплуатации трактора, используемого как энергетическое средство в агрегате с льдоскалывающим оборудованием.

К работе допускается квалифицированный тракторист, прошедший специальный инструктаж, выдержавший испытания на знание устройства, правил эксплуатации агрегата и получивший удостоверение на право работы с навесным льдоскалывателем.

В связи с постоянной работой по совершенствованию изделия, повышающей его надежность и улучшающей условия эксплуатации, в конструкцию могут быть внесены отдельные изменения, не отраженные в настоящем Руководстве.

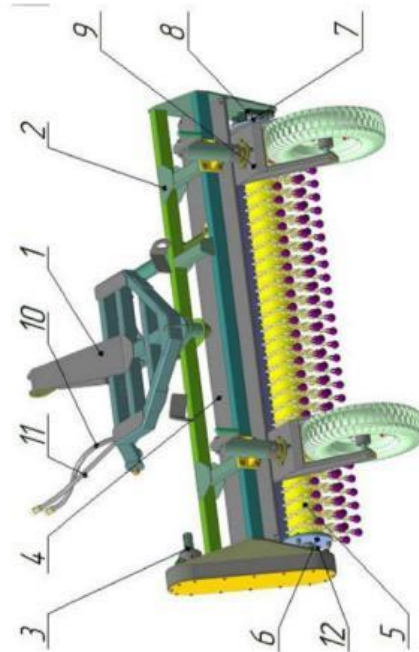


Рисунок В1 - Льдоскалыватель навесной без привода от ВОМ трактора

Приводная звездочка льдоскальвателя может иметь гидравлический или механический привод. Крепление кардана 47, соединяющего вал отбора мощности трактора и приводную балку 45, показано на рисунке 8.

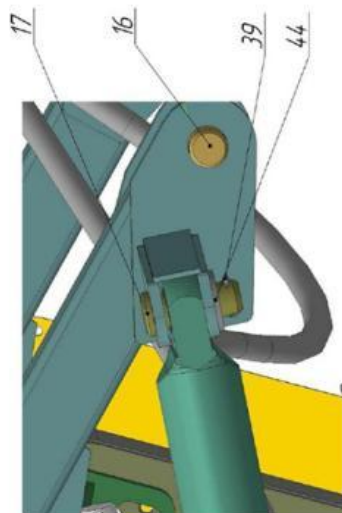


Рисунок В4 – крепление гидроцилиндров

ВНИМАНИЕ! Полость конического редуктора льдоскальвающего оборудования заполнена маслом. Перед работой снять заливную пробку на редукторе РКП и установить сапун, который поставляется с товаросопроводительной документацией в мешочке.

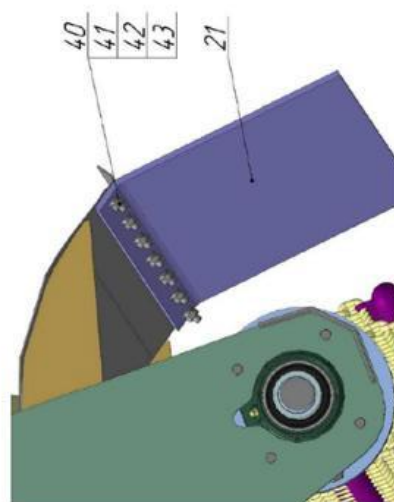


Рисунок В5 – крепление фаргука

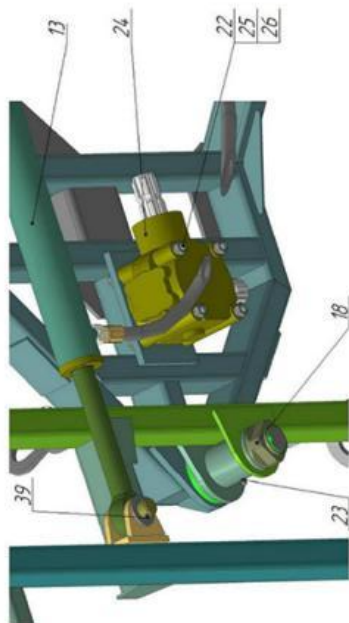


Рисунок В2 – установка редуктора

2.3 Устройство и работа льдоскальвающего оборудования.

2.3.1. Льдоскальватель устанавливается под углом 60° к продольной оси машины. Льдоскальвающее оборудование (рис. 1, таблица 2) состоит из навески 1, рамы 2, узла приводной звездочки 3, козырька 4, рабочего органа льдоскальвателя 5, приводного 6 и опорного 7 фланцев, фланцевых подшипниковых узлов 8, колес в сборе со стойкой 9, гидроцилиндров 13 (рисунок 2), цепи 14 (рисунок 3) и т.д., согласно перечня в таблице 2.

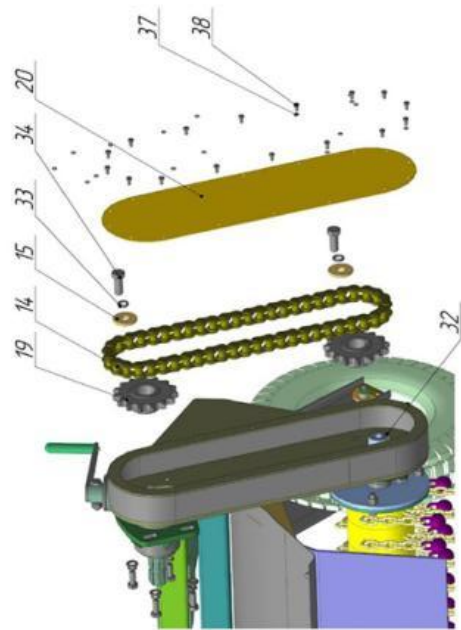


Рисунок В3 - Узел приводной звездочки

ВНИМАНИЕ! При движении коммунального агрегата (базовой машины) назад, льдоскалывающее оборудование должно быть переведено в транспортное положение.

2.3.2. Привод рабочего органа льдоскалывателя осуществляется от вала отбора мощности трактора с помощью кардана 47. Натяжение цепи регулируется натяжным роликом, расположенным в корпусе 3 цепного редуктора. К задним кронштейнам рамы присоединены 2 опорных колеса 9, при помощи которых регулируется заглубление бойков в лед. Вращающийся рабочий орган имеет защитный кожух 46, предотвращающий разбрасывание снега и льда.

2.3.3. Установить льдоскалыватель в сборе на заднюю навесную систему трактора, присоединив проушины рамы льдоскалывателя к продольным тягам навесного устройства трактора пальцами и застопорив их шплинтами, к центральной тяге навесного устройства - осью от трактора и зафиксировав чехой с кольцом и цепью от трактора.

2.3.4. Установить карданный вал 47 на ВОМ трактора и застопорить его

2.3.5. Отрегулировать опорные колеса (9) так, чтобы кромка сферических бойков была опущена на 10...15 мм ниже поверхности касания опорных колес (заглубление).

2.3.6. Давление в шинах опорных катков должно быть 2,25±0,25 атм.

2.3.7. Проверить наличие смазки согласно химмотологической карте (таблица 9).

2.3.8. Проверить и, при необходимости, затянуть все крепежные соединения.

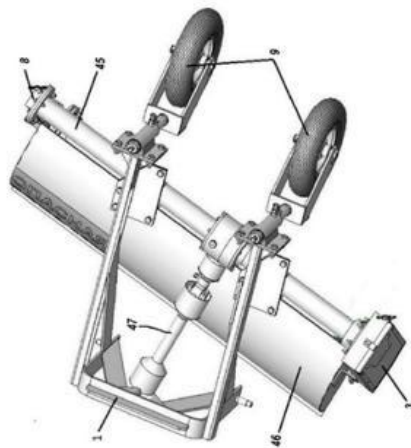


Рисунок В8 - Льдоскалывающее оборудование (модификация ЛНУ-1,5):
1 – рама для крепления навески; 3 - Редуктор цепной; 8 – Опорный подшипниковый узел; 9 – колесо опорное (рис. 6); 45 – балка приводная; 46 - Кожух льдоскалывателя; 47 – карданная передача

ВНИМАНИЕ!

При монтаже трубы рабочего органа льдоскалывателя устанавливать сварным фланцем (рисунок 5) со стороны цепного редуктора, а стяжным фланцем (рисунок 6) со стороны поддерживающей опоры.

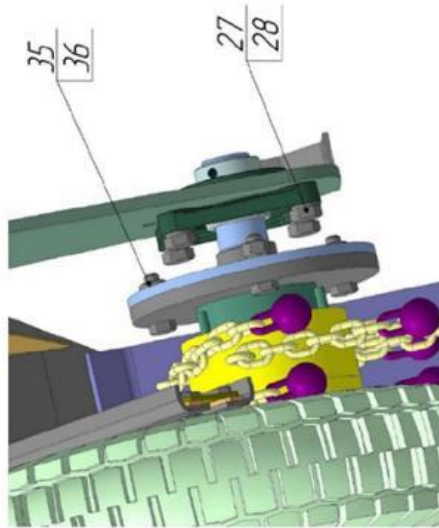


Рисунок В6 - установка фланца приводного вала в подшипниковом узле

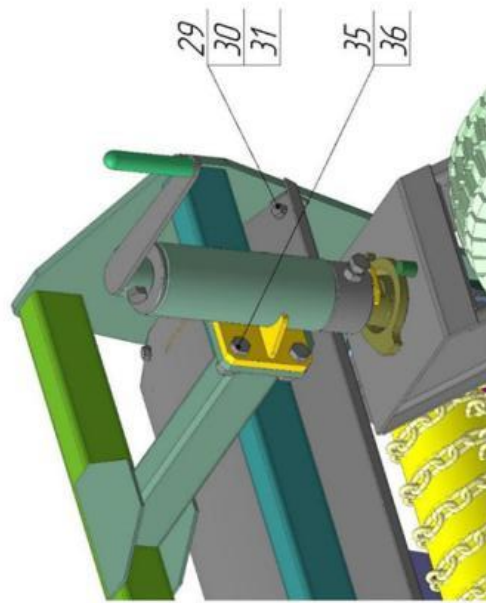


Рисунок В7 – крепление блока опорных колес 9 к раме 1

2.4. Описание льдоскалывающего оборудования инерционного типа

Рама 2 (рисунок 1) представляет собой сварную конструкцию из гнутого профиля, к передней части которой приварены три пары проушин для присоединения к тросам навесной системы.

К двум продольным балкам рамы снизу приварены пластины для соединения рамы с трубами привода. К задним пластинам рамы присоединяются болтами опорные катки 9.

Схема привода рабочего органа льдоскалывателя приведена на рис. 2. Привод льдоскалывателя (рис. 3) включает в себя конический редуктор 24 и цепную передачу 14. Ведущий вал - шестерня конического редуктора установлена на двух подшипниках 33, размещенных в стакане корпуса. На шлицах вала установлен фланец 6 для подсоединения карданного вала 47. С ведущим валом-шестерней соединена шестерня 14, которая через вал передает вращение звездочке цепного редуктора.

К корпусу 24 конического редуктора присоединены две трубы 45. В трубе 45 проходит ведомый вал, установленный на подшипниках 8. К концевым фланцам 6 и 7 труб крепятся с одной стороны, корпус 3 цепного редуктора, с другой – опора 8. К трубам приварены пластины для крепления привода к раме. Во фланце трубы 45 редуктора установлена пробка - масломер для контроля уровня масла. Для уплотнения валов использованы манжеты. Набор шайб предназначен для регулировки зацепления шестерен. Конические подшипники регулируются затяжкой гаек на концах вала - шестерни и ведомого вала. Смазка редуктора осуществляется разбрызгиванием.

Цепной редуктор 3 состоит из двух звездочек 19, роликовой однорядной цепи 14 и натяжного рычага с шарикоподшипником (рисунок 3). Корпус цепного редуктора закрыт крышкой 20. Регулировка натяжения роликовой цепи выполняется путем поворота натяжного рычага после снятия крышки и частичного отвинчивания болта крепления натяжного рычага. Плоскостность звездочек 19 и подшипника натяжного рычага регулируется прокладками. От ведомой звездочки, установленной на оси 32, вращение передается рабочему органу льдоскалывателя через болты фланцевого соединения.

Таблица 2

Позиция	Обозначение	Наименование	Кол. шт.
1	ЛНУ 01.00.000	Навеска	1
2	ЛНУ 02.00.000	Рама	1
3	ЛНУ 03.00.000	Узел приводной звездочки	1
4	ЛНУ 04.00.000	Козырек	1
5	ЛНУ 05.00.000	Рабочий орган льдоскалывателя	1
6	ЛНУ 06.00.000	Фланец приводной	1
7	ЛНУ 07.00.000	Фланец опорный	1
8	ЛНУ 08.00.000	Фланцевый подшипниковый узел	1
9	ЛНУ 09.00.000	Колесо	2
10		РВД-12	1
11		РВД-12	1
12	ЛНУ 10.00.000	Фланцевый подшипниковый узел	1
13	ГЦ-50-30-320-555	Гидроцилиндр	1
14		Цепь ПР-25,4-6000	1
15	ЛНУ 00.00.001	Шайба	2
16	ЛНУ 00.00.002	Палец	2
17	ЛНУ 00.00.003	Палец гидроцилиндра	2
18	ЛНУ 00.00.004	Гайка 39x2	1
19	ЛНУ 00.00.005	Звездочка t=25,4 z=15	2
20	ЛНУ 00.00.006	Крышка цепной передачи	1
21	ЛНУ 00.00.007	Фартук	1
22	ЛНУ 00.00.008	Шпилька	4
23	1.1 Ц6 ГОСТ 19853-74	Масленка	1
24	SI018 190 R 110	Редуктор	1
25	10 65Г ГОСТ 6402-70	Шайба	8
26	Гайка М10-6Н.6 ГОСТ 5915-70	Гайка	8
27	14 65Г ГОСТ 6402-70	Шайба	8
28	М14-6gx30.58 ГОСТ 7805-70	Болт	8
29	С.12.02.Сг3 ГОСТ 11371-78	Шайба	4
30	12 65Г ГОСТ 6402-70	Шайба	18
31	М12-6gx30.58 ГОСТ 7805-70	Болт	4
32	2-12x8x36 ГОСТ 23360-78	Шпонка	2
33	16 65Г ГОСТ 6402-70	Шайба	2
34	М16-6gx40.58 ГОСТ 7805-70	Болт	2
35	М12-6Н.6 ГОСТ 5915-70	Гайка	14
36	М12-6gx40.58 ГОСТ 7805-70	Болт	14
37	6 65Г ГОСТ 6402-70	Шайба	16
38	М6-6gx12.58 ГОСТ 7805-70	Болт	16
39	4x40 ГОСТ 397-79	Шплинт	2
40	М8-6gx25.58 ГОСТ 7805-70	Болт	11
41	М8-6Н.6 ГОСТ 5915-70	Гайка	11
42	65Г ГОСТ 6402-70	Шайба	11
43	С.8.02.Сг3 ГОСТ 11371-78	Шайба	15
44	С.24.02.Сг3 ГОСТ 11371-78	Шайба	2

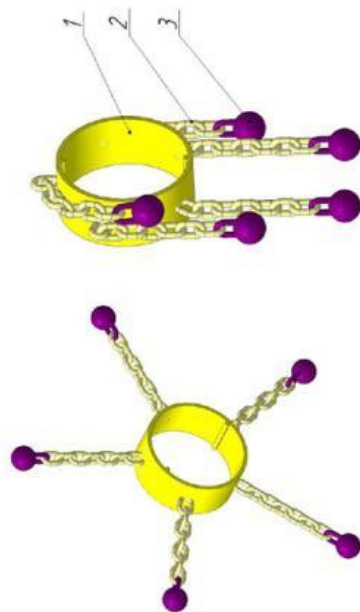


Рисунок В11 - Диск со сферическими бойками на гибкой связи

Таблица 3 – детали диска со сферическими бойками

Позиция	Обозначение	Наименование	Кол. шт.
1	ЛНУ 05.02.001	Кольцо	1
2	ЛНУ 05.02.002	Цепь	5
3	ЛНУ 05.02.003	Сферический Боек	5



Рисунок В12 - Вал привода рабочего органа льдоскальвателя

Таблица 4 – Комплектация вала привода

Позиция	Обозначение	Наименование	Кол. шт.
1	ЛНУ 05.01.001	Фланец	1
2	ЛНУ 05.01.002	Труба	1
3	ЛНУ 05.01.003	Вставка	1
4	ЛНУ 05.01.004	Круг	3

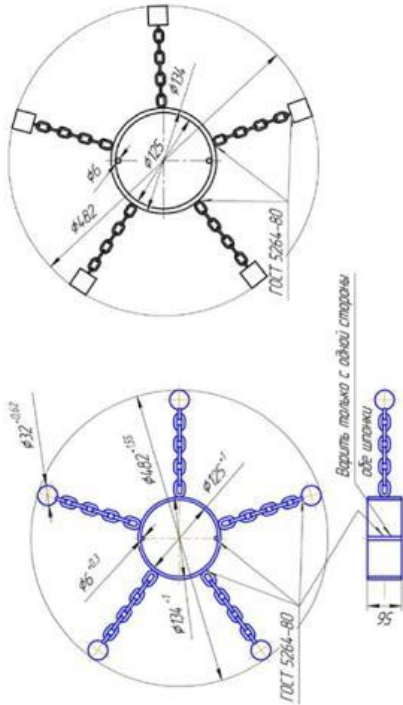


Рисунок В9 - Чертеж отдельного съемного звена льдоскальвателя с бойками различной формы в рабочем состоянии



Рисунок В10 - Вал привода рабочего органа льдоскальвателя с опорным фланцем

Опора 17 с установленной в корпусе 20 цапфой 21 предназначена для крепления второго фланца 6 рабочего органа 5 льдоскальвателя. Подшипник в корпусе 12 не закреплен в осевом направлении, и цапфа может перемещаться в осевом направлении, что позволяет устанавливать и снимать рабочий орган льдоскальвателя без демонтажа фланцевого узла 8 и компенсирует неточности изготовления.

Рабочий орган льдоскальвателя 25 присоединяется к фланцам оси 6 и цапфы 7. Машина может комплектоваться бойками сферической и кубической формы на наборных дисках (рисунки 9, 11, табл. 3).

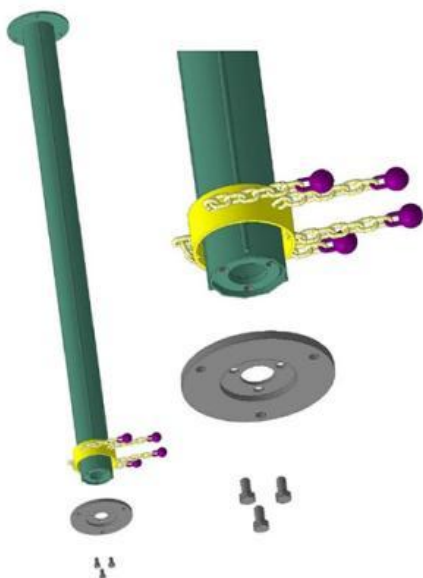


Рисунок В13 - Порядок комплектования рабочего органа льдоскалывателя съёмными звеньями

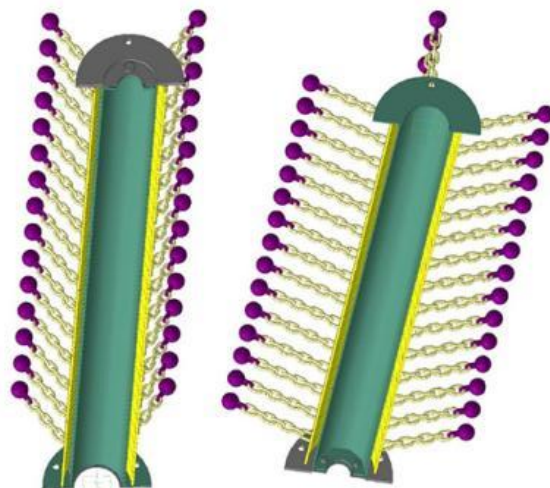


Рисунок В14 - Продольный разрез рабочего органа льдоскалывателя со сферическими бойками в рабочем состоянии

На рис.14 изображен продольный разрез льдоскалывателя со сферическими бойками.

Основной частью льдоскалывателя является труба с двумя фланцами 6 и 7. На трубе барабана насажены сменные диски (рисунок 10) с инерционными бойками на гибкой связи.

Рабочий орган льдоскалывателя 5 состоит из трубы с приварным фланцем (рисунок 11, съемного фланца (рисунок 13), из наборных дисков с инерционными бойками на гибкой связи (рисунки 10, 12, 13, табл. 4) и колец промежуточных. Каждый диск имеет штыревой фиксатор, на трубе приварены опорные планки. Установкой на трубу сменных дисков с промежуточными кольцами набирается рабочий орган 5 льдоскалывателя (рисунок 17), диски закрепляются съёмным фланцем (рисунок 23).

Точно так же рабочий орган 5 собирается без промежуточных колец, а только из наборных дисков с бойками на гибкой связи (рисунки 15, 16, таблица 5).

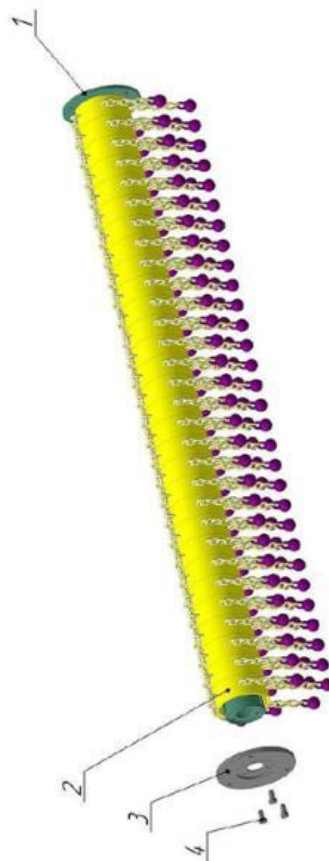


Рисунок В15 – Рабочий орган льдоскалывателя, собранный без промежуточных колец, в свободном, нерабочем состоянии

Таблица 5 – Комплектация рабочего органа льдоскалывателя

Позиция	Обозначение	Наименование	Кол. шт.
1	ЛНУ 05.01.000	Вал	1
2	ЛНУ 05.02.000	Диск	30
3	ЛНУ 05.00.001	Фланец прижимной	1
4	M12-6gx2,5,8 ГОСТ 7805-70	Болт	3

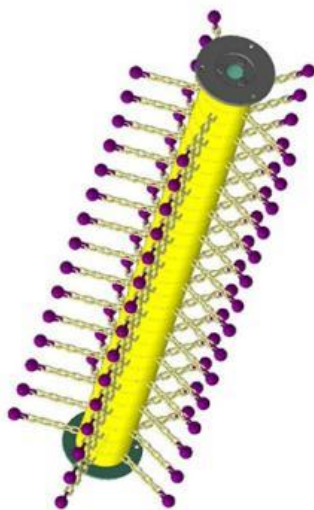


Рисунок В17 - Вариант комплектации рабочего органа льдоскальвателя съемными дисками со сферическими ударниками, чередующимися с пустыми звеньями – «с просветом»



3. Использование оборудования

3.1. Общие указания.

3.1.1. К работе с навесным льдоскальвующим оборудованием допускаются лица, ознакомленные с его устройством, обученные приемам безопасной эксплуатации, прошедшие инструктаж по технике безопасности и имеющие права на управление трактором.

3.1.2. Перед каждым использованием убедиться в исправности и эксплуатационной пригодности оборудования.

3.1.3. Перед началом движения необходимо подать предупредительный звуковой сигнал и следить, чтобы в зоне работы не находились люди.

3.1.4. При обнаружении неисправности работу прекратить до ее устранения.

3.1.5. Транспортная скорость не более 20 км/ час.

3.1.6. Обслуживания навесного льдоскальвующего оборудования производить только при не работающем двигателе и включенном стояночном тормозе.

3.1.7. Не включайте BOM трактора при поднятом льдоскальвателе.

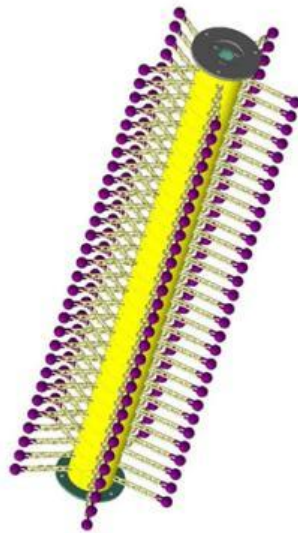


Рисунок В16 - Вариант комплектации рабочего органа льдоскальвателя съемными дисками со сферическими ударниками «без просвета»

Для исключения перебрасывания рабочим органом льдоскальвателя снега и крошек льда назад и значительного их «пыления», над льдоскальвателем установлен кожух (п.10, рис.1) из гнутого листа с ребрами жесткости (рисунок 30).

Для привода льдоскальвателя применен карданный вал 47. При подъеме и опускании льдоскальвателя происходит изменение длины карданного вала 47 за счет подвижного соединения. Для обеспечения «копирования» очищаемой поверхности конструкции предусмотрена возможность опускания льдоскальвателя ниже уровня задних колес.

Допускается увеличивать или уменьшать подъем льдоскальвателя за счет уменьшения размеров раскосов и центральной тяги задней навесной системы. Для навески льдоскальвателя на трактор МТЗ размер между верхними и нижними пальцами раскосов задней навесной системы установлен равным примерно 490 мм, размер центральной тяги - примерно 680 мм. Допускается незначительное изменение размеров одного из раскосов и центральной тяги для обеспечения равномерного прилегания сферических или иных бойков к очищаемой поверхности.

3.2. Меры безопасности.

3.2.1 При подготовке и проведении монтажно-сборочных работ строго соблюдайте требования техники безопасности.

3.2.2 Инструмент, оснастка и приспособление для проведения монтажно-сборочных работ должны быть исправными, соответствовать назначению и обеспечивать безопасное выполнение работ.

4 Техническое обслуживание и комплектация (рисунки 18 - 33, таблицы 6 – 21)

Для обеспечения оптимальных условий работы льдоскальвателя необходимо, чтобы сферические бойки на гибкой связи не воспринимали вес конструкции, а льдоскальватель имел бы определенное «заглубление». Для этой цели в льдоскальвающем устройстве применены два опорных катка (колеса) 9, которые закреплены на раме 2 (рисунки 18, 19, 20, 21) (табл. 6, 7). Колесо опорное (рис. 5, 18, 19, 20, 21) состоит из колеса, опорной вилки и механизма регулировки. Колесо включает в себя шину обода, ступицу. Ступица установлена на подшипниках и соединена с вилкой посредством оси. Вилка шарнирно соединена с ползуном, который с помощью винта может перемещаться в направляющей корпуса. Стопорение ползуна опорного катка осуществляется болтом и гайкой.

При необходимости поднять или заглубить льдоскальватель, следует отпустить болт и, вращая ключом винт, произвести подъем или опускание его рабочего органа. После установки болт необходимо законтрить гайкой.

Таблица 6 – Комплектация блока опорного колеса

Позиция	Обозначение	Наименование	Кол. шт.
1	ЛНУ 09.01.000	Корпус шиноли	1
2	ЛНУ 09.02.000	Пиноль	1
3	ЛНУ 09.03.000	Вилка	1
4	ЛНУ 09.04.000	Ручка	1
5	ЛНУ 09.05.000	Колесо	1
6	ЛНУ 09.00.001	Винт	1
7	ЛНУ 09.00.002	Оседержатель	2
8	M12-6gx30.58 ГОСТ 7805-70	Болт	1
9	M12-6H.6 ГОСТ 5915-70	Гайка	1
10	M12-6gx60.58 ГОСТ 7805-70	Болт	1
11	M12-6H.6 ГОСТ 5915-70	Гайка	1
12	12 65Г ГОСТ 6402-70	Шайба	1
13	B52.65Г ГОСТ 13942-86	Кольцо	1
14	M8-6gx25.58 ГОСТ 7805-70	Болт	4
15	M8-6H.6 ГОСТ 5915-70	Гайка	4
16	8 65Г ГОСТ 6402-70	Шайба	4

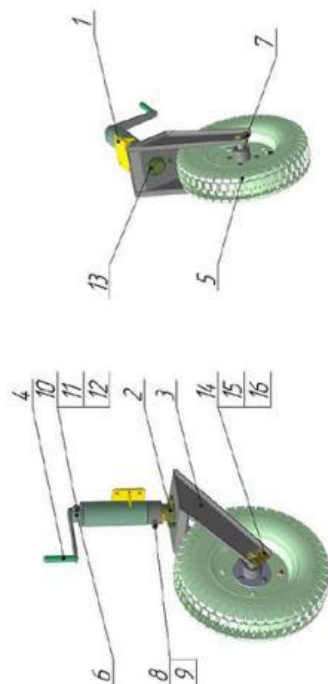


Рисунок В18 - Блок опорного колеса

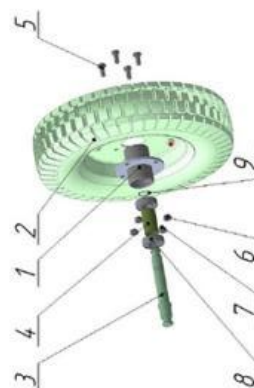


Рисунок В19 – Ступица опорного колеса

Таблица 7 – Комплектация ступицы колеса

Позиция	Обозначение	Наименование	Кол. шт.
1	ЛНУ 09.05.100	Ступица	1
2	5.00-10	Колесо	1
3	ЛНУ 09.05.001	Ось	1
4	ЛНУ 09.05.002	Втулка дистанционная	1
5	M10-6gx25.58 ГОСТ 7805-70	Болт	4
6	M10-6H.6 ГОСТ 5915-70	Гайка	4
7	10 65Г ГОСТ 6402-70	Шайба	4
8	80205 ГОСТ 7242-81	Подшипник	2
9	B25 ГОСТ 13942-86	Кольцо	1

При изменении высоты проработки ледяного покрытия заглубление рабочего органа льдоскальвателя следует обеспечивать только регулировкой опорных катков, без регулирования механизма задней навесной системы.

4.1. Техническое обслуживание навесного льдоскалывающего оборудования совмещать с техническим обслуживанием трактора.

4.2. Виды технического обслуживания льдоскалывающего оборудования:

- ежесменное техническое обслуживание (ЕТО), проводится перед выездом на место работы

- техническое обслуживание №1 (ТО1) проводится через каждые 60 часов работы
- техническое обслуживание №2 (ТО2) проводится через каждые 240 часов работы
- техническое обслуживание №3 (ТО3) проводится через каждые 960 часов работы
- сезонное техническое обслуживание (СТО) проводится при переходе на зимний и летний период эксплуатации. Во время летнего периода эксплуатации вместо рабочего органа льдоскалывателя можно навесить стандартное щеточное оборудование.

В зависимости от технического состояния и условий работы периодичность технического обслуживания может меняться для обеспечения постоянной технической готовности и безопасности работы.

4.3. При ежесменном техническом обслуживании:

- очистить рабочие органы от грязи;
- проверить состояние гибких связей и сферических бойков и величину заглубления;
- снять фильтр, очистить и промыть от мусора;

4.4. При ТО №1:

- выполнить ЕТО;
- очистить места смазки от грязи;
- произвести смазочные работы по пунктам 1...3 химмотологической карты (табл. 9);
- проверить давление в шинах опорных колес льдоскалывателя, при необходимости довести до нормы ($1,8 \text{ кгс/см}^2 \pm 0,1 \text{ кгс/см}^2$);
- проверить затяжку крепежных соединений, при необходимости затянуть.

4.5. При ТО №2:

- выполнить ТО1;
- произвести смазочные работы по пунктам 4...7 химмотологической карты (табл. 9);
- произвести натяжение цепи привода льдоскалывателя (при необходимости)
- проверить люфты в соединениях карданного вала (при необходимости устранить)

4.6. При ТО №3;

- выполнить ТО2;
- произвести смазочные работы по пунктам 8...9 химмотологической карты (табл. 9);
- проверить люфт в валах конического редуктора, при необходимости отрегулировать зазор в конических подшипниках;

Для предохранения сферических бойков от быстрого износа и для улучшения качества очистки дорожного полотна от ледяного покрытия рекомендуется устанавливать «заглубление» рабочего органа льдоскалывателя не более 10-15 мм.

В зависимости от модификации льдоскалывающего устройства, применяются различные виды опорных колес. Для машин ЛНУ, ЛН454, ЛНУ-1,5 применяются опорные колеса, изображенные на рис. 20, 21.

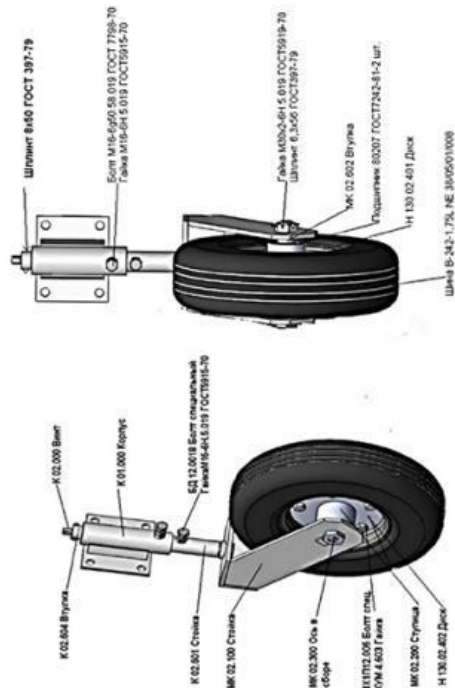


Рисунок В20 – Колесо опорное в сборе

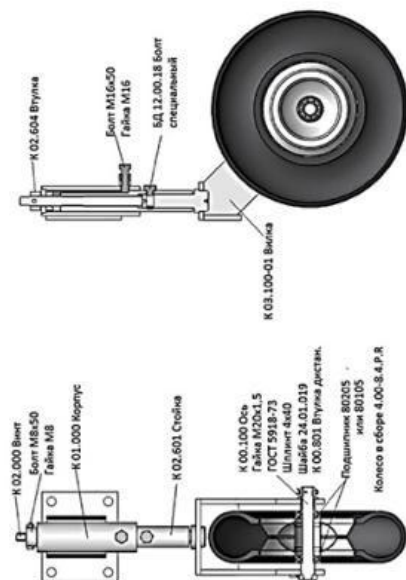


Рисунок В21 – Колесо опорное, вид общий

- проверить состояние металлоконструкции, при необходимости произвести ремонт.
- 4.7. При СТО;
- выполнить очередное техническое обслуживание;
- произвести смазочные работы по пункту 10 химмотологической карты (таблица 9);
- произвести полное обследование навесного оборудования, устранить все неисправности, включая покрасочные работы.

4.8. Возможные неисправности и методы их устранения приведены в таб. 8.

Таблица 8 - возможные неисправности		
Неисправность	Причина	Метод управления
Конический редуктор издает сильный шум	Не отрегулировано зацепление шестерен Нарушилась регулировка подшипников	Отрегулировать боковой зазор и пятно контакта зацепления. Произвести поджатие конических подшипников
Избыточный нагрев корпуса редуктора	Недостаточен уровень смазки. Повышенная вязкость смазки. Повышенный уровень масла. Перетянуты подшипники	Долить масла до нормального уровня. Заменить смазку на рекомендуемую. Слейте масло до нормального уровня. Отрегулируйте подшипники
Цепная передача издает «хрустящий» шум	Чрезмерное натяжение цепи	Ослабить натяжение цепи
Утечка масла в местах уплотнений	Повреждено или изношено уплотнение	Заменить уплотнение
Рабочие органы не поднимаются в транспортное положение	Неисправности гидросистемы трактора	См. эксплуатационные документы трактора

5. Хранение

5.1. При подготовке оборудования к хранению:

- очистить и отмыть от грязи, пыли и снега;
- подготовить подставки для рабочего органа лысокальвателя для установки его на высоту 10-15 мм от опорной поверхности;
- опустите рабочий орган лысокальвателя на подставки;
- провести очередное техническое обслуживание;
- восстановить поврежденную окраску нанесением лакокрасочного покрытия или зашпаклевать поврежденные места защитной смазкой;
- открытые места шарнирных, шлицевых соединений законсервировать по ГОСТ 9.014;
- поверхности шин покрыть светозащитным составом;
- ослабить натяжение цепи привода щетки;

- проверить наличие пробки в заливном отверстии редуктора.
- 5.2. Хранить оборудование в закрытом помещении или под навесом.
- 5.3. Правила хранения и техническое обслуживание при хранении по ГОСТ 7751.

Таблица 9 - Химмотологическая карта

Точки смазки	Наименования узла	Кол-во точек смазки	Наименование смазки		Периодичность смазки, часов работы
			Основная	Заменяющая	
1	Шлицевые соединения карданного вала	2	Литол 24 ГОСТ 21150	Солдол С ГОСТ4366	60
2	Конический редуктор для щетки	1	Масло трансмиссионное ТАп-15В ГОСТ23652	При низких температурах: масло трансмиссионное ТСп-10 ГОСТ23652	60 (доллив)
3	Цепная передача привода щетки	1	Литол 24 ГОСТ21150	Солдол С ГОСТ4366	60
4	Подшипники карданного вала	2	Литол 24 ГОСТ 21150	Солдол С ГОСТ 4366	240
5	Конический редуктор для щетки	1	Масло трансмиссионное ТАп-15В ГОСТ23652	При низких температурах: масло трансмиссионное ТСп-10 ГОСТ23652	240 (замена)
6	Цепная передача привода щетки	1	Литол 24 ГОСТ21150	Солдол С ГОСТ4366	240 (замена)
7	Подшипники и вилка опорных колес щетки	4	Литол 24 ГОСТ21150	Солдол С ГОСТ4366	240
8	Ползун и винт опорного колеса (разобрать)	2	Литол 24 ГОСТ21150	Солдол С ГОСТ4366	960
9	Правая опора щетки	1	Литол 24 ГОСТ21150	Солдол С ГОСТ4366	960
10	Шарнирные соединения, пальцы и другие соединения		Литол 24 ГОСТ21150	Солдол С ГОСТ4366	Один раз в сезон

6. Транспортирование

6.1. Перед транспортированием навесного оборудования необходимо:

- надежно закрепить в транспортном положении рабочие органы.
 - наружным осмотром убедиться в надежности крепления всех узлов и деталей.
- 6.2. Транспортирование производить со скоростью не более 20 км/ч.

6.3. При дальних перевозках допускается использование любых видов транспорта с выполнением правил транспортирования на них.

7. Смазка

7.1 Общие указания

Срок службы и бесперебойная работа машины в значительной степени зависят от правильной и своевременной смазки сборочных единиц.

Точное выполнение указаний настоящего раздела является обязательным. Указания по смазке базового трактора даны в РЭ трактора.

8. Перечень сборочных единиц и требования к их эксплуатации
Смазка сборочных единиц агрегата производится в соответствии с таблицей и картой смазки. Применение масел, не указанных в карте смазки, а также нарушение сроков смазки не допускается. Сливать масло из сборочных единиц навесного оборудования при его замене необходимо сразу после остановки машины, когда масло еще прогрето (рис. 22, 23, 24, табл. 10,11,12).

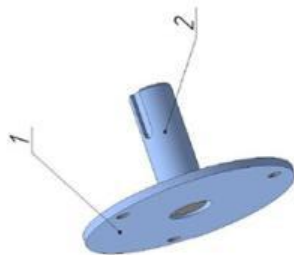


Рисунок В23 - Фланец приводной

Таблица 11 – Комплектация фланца приводного

Позиция	Обозначение	Наименование	Кол. шт.
1	ЛНУ 06.00.001	Фланец	1
2	ЛНУ 06.00.002	Цапфа	1



Рисунок В24 – Узел приводной звездочки

Таблица 12 – Комплектация узла приводной звездочки

Позиция	Обозначение	Наименование	Кол. шт.
1	ЛНУ 03.00.001	Стакан	1
2	2.2-40x60-2 ГОСТ 8752-79	Манжета	1
3	80208 ГОСТ 7242-81	Подшипник	2
4	ЛНУ 03.00.002	Вал приводной	1
5	ЛНУ 03.00.003	Втулка дистанционная	1
6	В80.65Г ГОСТ 13943-86	Кольцо	1



Рисунок В22 – Фланцевый подшипниковый узел

Таблица 10 – Комплектация Фланцевого подшипникового узла

Позиция	Обозначение	Наименование	Кол. шт.
1	ЛНУ 08.00.001	Корпус	1
2	1.2 К16 ГОСТ 19853-74	Масленка	1
3	780208 ГОСТ 24850-81	Подшипник	1

После слива масла промойте корпус редукторов дизельным топливом. Заправлять сборочные единицы холодным маслом нельзя, холодное масло перед заправкой должно быть прогрето.

При смазке сборочных единиц через пресс – масленки, последние перед смазкой очистите от грязи, а после смазки удалите в соединении всю выступающую наружу смазку. При смазке соединений, которые смазываются путем разборки, промывкой удалите старую смазку, протрите поверхности и нанесите свежий слой смазки.

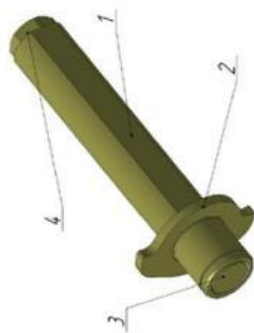


Рисунок В27 - Пиноль



Рисунок В28 - Ручка

Таблица 16 - Комплектация ручки

Позиция	Обозначение	Наименование	Кол. шт.
1	ЛНУ 09.04.001	Втулка	1
2	ЛНУ 09.04.002	Рычаг	1
3	ЛНУ 09.04.003	Ручка	1

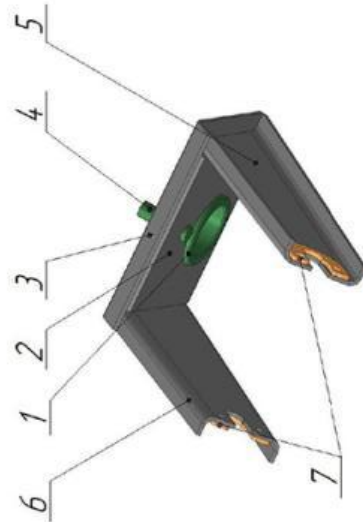


Рисунок В29 - Вилка

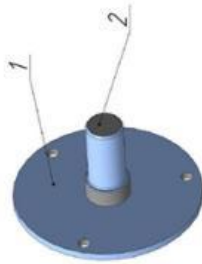


Рисунок В25 - Фланец опорный

Таблица 13 - Комплектация фланца опорного

Позиция	Обозначение	Наименование	Кол. шт.
1	ЛНУ 06.00.001	Фланец	1
2	ЛНУ 07.00.001	Цапфа	1

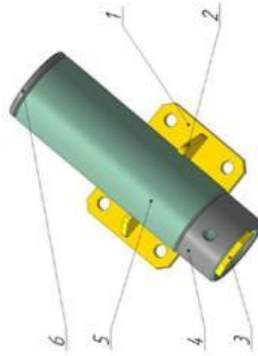


Рисунок В26 - Корпус пиноли

Таблица 14- Комплектация корпуса пиноли

Позиция	Обозначение	Наименование	Кол. шт.
1	ЛНУ 09.01.001	Пластина крепежная	1
2	ЛНУ 09.01.002	Ребро	2
3	ЛНУ 09.01.003	Шпонка	1
4	ЛНУ 09.01.004	Втулка направляющая	1
5	ЛНУ 09.01.005	Труба	1
6	ЛНУ 09.01.006	Дно	1

Таблица 15 – комплектация пиноли

Позиция	Обозначение	Наименование	Кол. шт.
1	ЛНУ 09.02.001	Труба пиноли	1
2	ЛНУ 09.02.002	Ограничитель	1
3	ЛНУ 09.02.003	Гайка	1
4	ЛНУ 09.02.004	Заглушка	1

Таблица 17 – Комплектация вилки

Позиция	Обозначение	Наименование	Кол. шт.
1	ЛНУ 09.03.001	Втулка вилки	1
2	ЛНУ 09.03.002	Пластина нижняя	1
3	ЛНУ 09.03.003	Пластина верхняя	1
4	ЛНУ 09.03.004	Штырь	1
5	ЛНУ 09.03.005	Боковина	1
6	ЛНУ 09.03.006	Боковина	1
7	ЛНУ 09.03.007	Накладка	2



Рисунок В30 – Козырек-кожух (фаргук)

Таблица 18 – Комплектация фаргук

Позиция	Обозначение	Наименование	Кол. шт.
1	ЛНУ 04.00.001	Козырек	1
2	ЛНУ 04.00.002	Ребро	2

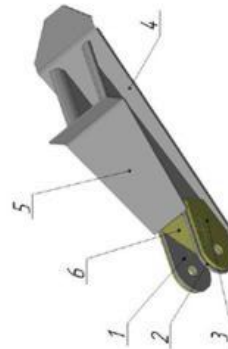


Рисунок В31 – Хвостовик

Таблица 19 – Комплектация хвостовика

Позиция	Обозначение	Наименование	Кол. шт.
1	ЛНУ 01.01.001	Гусак	1
2	ЛНУ 01.01.002	Гусак	1
3	ЛНУ 01.01.003	Накладка	2
4	ЛНУ 01.01.004	Верх	1
5	ЛНУ 01.01.005	Пластина передняя	1
6	ЛНУ 01.01.006	Защивка	1

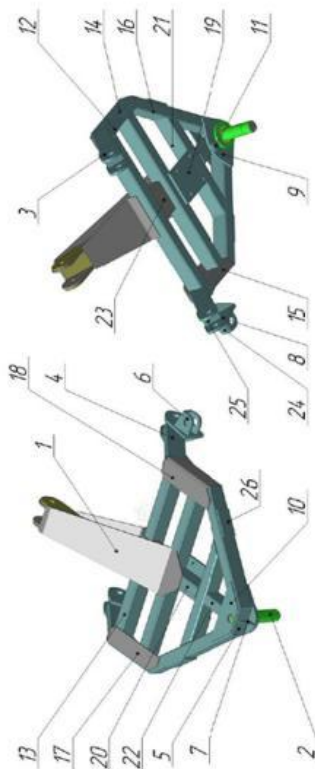


Рисунок В32 – Навеска

Таблица 20 - Комплектация навески льдоскапывателя

Позиция	Обозначение	Наименование	Кол. шт.
1	ЛНУ 01.01.000	Хвостовик	1
2	ЛНУ 01.02.000	Ось	1
3	ЛНУ 01.00.001	Ухо нижнее	3
4	ЛНУ 01.00.002	Труба несущая	2
5	ЛНУ 01.00.003	Перемычка оси	1
6	ЛНУ 01.00.004	Ухо гидроцилиндра	2
7	ЛНУ 01.00.005	Косынка	2
8	ЛНУ 01.00.006	Ухо нижнее	1
9	ЛНУ 01.00.007	Пластина оси нижняя	1
10	ЛНУ 01.00.008	Пластина оси верхняя	1
11	ЛНУ 01.00.009	Бобышка	1
12	ЛНУ 01.00.010	Ребро-раскос	2
13	ЛНУ 01.00.011	Перемычка	2
14	ЛНУ 01.00.012	Труба каркаса	1
15	ЛНУ 01.00.013	Труба каркаса	1
16	ЛНУ 01.00.014	Раскос	2
17	ЛНУ 01.00.015	Накладка	1
18	ЛНУ 01.00.016	Накладка	1
19	ЛНУ 01.00.017	Пластина редуктора	1
20	ЛНУ 01.00.018	Распорка	1
21	ЛНУ 01.00.019	Перемычка редуктора	1
22	ЛНУ 01.00.020	Труба вставка	1
23	ЛНУ 01.00.021	Коробка	1
24	ЛНУ 01.00.022	Ребро	1
25	ЛНУ 01.00.023	Защивка	2
26	ЛНУ 01.00.024	Упор	2

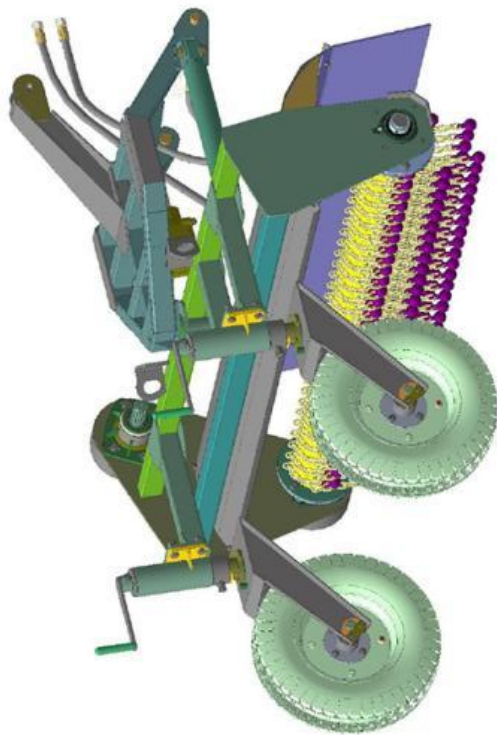


Рисунок В34 - Вид общий инерционного льдоскалывателя со сферическими бойками в свободном, нерабочем состоянии

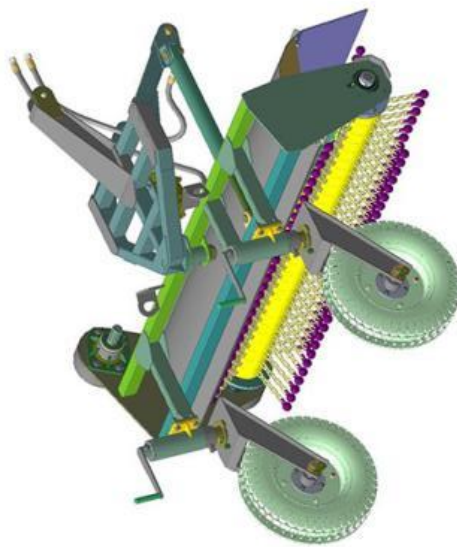


Рисунок В35 - Вид общий инерционного льдоскалывателя со сферическими бойками в рабочем положении

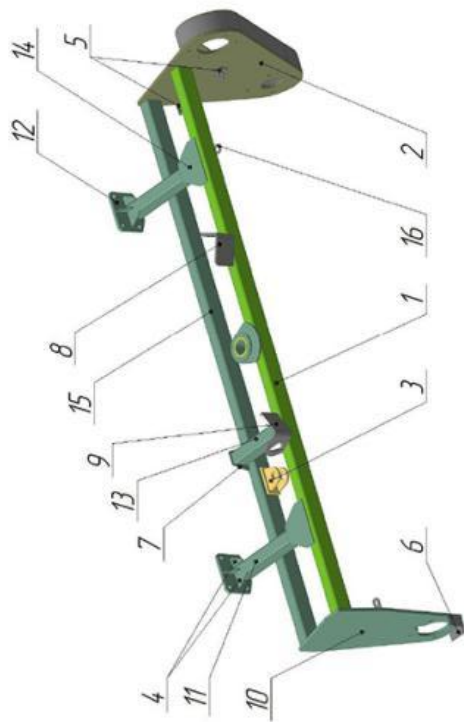


Рисунок В33 – Рама

Таблица 21 – Комплектация рамы

Позиция	Обозначение	Наименование	Кол. шт.
1	ЛНУ 02.01.000	Труба центральная	1
2	ЛНУ 02.02.000	Корпус цепной передачи	1
3	ЛНУ 02.03.000	Кронштейн гидроцилиндра	1
4	ЛНУ 02.00.001	Косынка	6
5	ЛНУ 02.00.002	Кронштейн	4
6	ЛНУ 02.00.003	Отбойник	1
7	ЛНУ 02.00.004	Защивка	2
8	ЛНУ 02.00.005	Упор навески	1
	ЛНУ 02.00.006	Упор навески	1
10	ЛНУ 02.00.007	Костыль	1
11	ЛНУ 02.00.008	Труба колеса	2
12	ЛНУ 02.00.009	Пластина крепления колеса	2
13	ЛНУ 02.00.010	Связка	1
14	ЛНУ 02.00.011	Накладка	4
15	ЛНУ 02.00.012	Труба	1
16	С.16.02. Ст3 ГОСТ 11371-78	Шайба	1

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Справка о подтверждении публикаций в базе данных Scopus

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ҒЫЛЫМ
ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

ҒЫЛЫМ КОМИТЕТІ

«ҰЛТТЫҚ МЕМЛЕКЕТТІК ҒЫЛЫМИ-
ТЕХНИКАЛЫҚ САРАПТАМА ОРТАЛЫҒЫ»
АКЦИОНЕРЛІК ҚОҒАМЫ



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

КОМИТЕТ НАУКИ

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР ГОСУДАРСТВЕННОЙ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ»

050026, Қазақстан Республикасы
Алматы қаласы, Бөгенбай батыр көшесі, 221
Тел.: +7 (727) 222-11-02
E-mail: info@ncste.kz <http://www.ncste.kz>

050026, Республика Казахстан
город Алматы, улица Бөгенбай батыра, 221
Тел.: +7 (727) 222-11-02
E-mail: info@ncste.kz <http://www.ncste.kz>

№ 2338/16-03-02 от 08.04.2025

**Бугаев Андрей
Борисович**

АО «НЦНТЭ» предоставляет информацию о наличии публикаций Бугаева Андрея Борисовича в научных изданиях, входящих в международные информационные ресурсы Web of Science (Clarivate Analytics) и Scopus (Elsevier).

1. «International Review of Mechanical Engineering» (United States), ISSN 1970-8734, годы охвата в Scopus с 2009 по 2024 год. Предметная область – инженерия: архитектура, общая инженерия, автомобилестроение, машиностроение; сельскохозяйственные и биологические науки: сельскохозяйственные и биологические науки (разное); материаловедение: материаловедение (разное); химическая инженерия: ток жидкости и процессы переноса.

2. «Journal of Mechanical Engineering Research and Developments» (Bangladesh), ISSN 1024-1752, годы охвата в Scopus 1995, 1997 год, 2001, с 2014 по 2021 год. Предметная область – инженерия: вычислительная механика, машиностроение; общая физика и астрономия; компьютерные науки: прикладная информатика.

Статьи Бугаева А.Б.:

1. Kim Alina, Guryanov Georgy, Vavilov Andrey, Bugayev Andrey, Doudkina Yelena. Development of mounted impact-rotor working equipment for destruction of snow-ice formations // International Review of Mechanical Engineering. – 2021. – Vol. 15, Iss. 5. – P. 258-267.

Статья выявлена в базе данных Scopus. В момент ее опубликования 2021 году журнал «International Review of Mechanical Engineering» имел CiteScore за 2020 год равный 1,7 и процентиль по машиностроению – 41. Журнал «International Review of Mechanical Engineering» имел CiteScore за 2019 год равный 1,3 и процентиль по машиностроению – 38. Журнал «International Review of Mechanical Engineering» имел CiteScore за 2021 год равный 2,1 и процентиль по сельскохозяйственным и биологическим наукам (разное) – 60; процентиль по общей инженерии – 55; процентиль по материаловедению (разное) – 51; процентиль по автомобилестроению – 48; процентиль по машиностроению – 44; процентиль по току жидкости и процессам переноса – 41. На момент защиты диссертации в 2025 году журнал «International Review of Mechanical Engineering» имеет CiteScore за 2023 год равный 1,9 и процентиль по архитектуре – 74; процентиль по сельскохозяйственным и биологическим наукам (разное) – 51; процентиль по

общей инженерии – 45; проценти́ль по автомобилестроению – 44; проценти́ль по материаловедению (разное) – 41; проценти́ль по машиностроению – 38; проценти́ль по току жидкости и процессам переноса – 38.

2. Doudkin Mikhail, Kim Alina, Guryanov Georgy, Mlynczak Marek, Eleukenov Murat, Bugaev Andrey, Rogovsky Valery. Process modeling and experimental verification of the conditions of ice coverage destruction of automobile roads // Journal of Mechanical Engineering Research and Developments. – 2019. – Vol. 42, Iss. 4. – P. 1-8.

Статья выявлена в базе данных Scopus. В момент ее опубликования 2019 году журнал «Journal of Mechanical Engineering Research and Developments» имел CiteScore за 2018 год равный 0,6 и проценти́ль по машиностроению – 25. Журнал «Journal of Mechanical Engineering Research and Developments» имел CiteScore за 2019 год равный 1,5 и проценти́ль по вычислительной механике – 43; проценти́ль по машиностроению – 40; проценти́ль по общей физике и астрономии – 39; проценти́ль по прикладной информатике – 36. На момент защиты диссертации в 2025 году журнал «Journal of Mechanical Engineering Research and Developments» имеет CiteScore за 2020 год равный 1,3 и проценти́ль по вычислительной механике – 39; проценти́ль по машиностроению – 33; проценти́ль по общей физике и астрономии – 32; проценти́ль по прикладной информатике – 28.

**Заместитель Председателя Правления
АО «НЦНТЭ»**

Р. Манатбаев

*Исп.: Жандаулетова Ж.Р.
Тел.: 344-11-10 (406)*

Согласовано

04.04.2025 15:29 Раимжанова Арайлым Дюйсеновна

07.04.2025 17:30 Мамытбаева Шолпанай Галкиевна

08.04.2025 17:46 Елеуенова Камарсулу Агимедуллиевна

Подписано

08.04.2025 17:58 Манатбаев Рустем Кусайнгазыевич



ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Акты внедрения (комплект документов)



EUROTECHSERVICE K

ВК филиал ТОО «Евротехсервис К», Республика Казахстан
г. Усть-Каменогорск, пр. Абая 205, тел/факс.8-7232-55-03-01, 55-08-37, 23-06-02.

г. Усть-Каменогорск

«14» января 2020г.

Приказ № 04

О создании комиссии и проведении промышленных испытаний опытного образца навесного оборудования и ручного самоходного льдоскалывателя с вращающимся рабочим органом с инерционными элементами различной геометрической формы для разрушения снежно-ледяных образований на дорогах, с общим опытно-промышленным названием «Механизированный комплекс для очистки дорог и тротуаров в зимнее время».

С целью проведения производственных испытаний опытного образца льдоскалывателя навесного, и самопередвигающейся ручной машины с рабочим органом для разрушения снежно-ледяных образований на дорогах, входящих в «Механизированный комплекс для очистки дорог и тротуаров в зимнее время», изготовленных по результатам работы, чертежам и технологическим материалам проекта (AP05130746) «Механизированный комплекс для очистки дорог и тротуаров в зимнее время» и являющихся также объектом научных исследований докторантов PhD Елеукунова М.Т. и Бугаева А.Б., приказываю:

1. Создать комиссию в составе:

Председатель:

Директор ВКФ ТОО "Евротехсервис К"

Дыдышко В.К.

члены комиссии:

Зам.директора ВКФ ТОО "Евротехсервис К"

Прокудин О.Ю.

Гл. механик ВКФ ТОО "Евротехсервис К"

Строкатов С.В.

Начальник участка сервис ГШО ВКФ ТОО "Евротехсервис К"

Зубенко С.В.

участники и исполнители проекта:

М.В. Дудкин, В.В. Роговский, А.И. Ким, Г.А. Гурьянов, А.В. Вавилов, М.Т. Елеукунов, А.Б. Бугаев, Е.Л. Дудкина.

2. В соответствии с программой и методикой испытаний провести отдельные испытания и приемку результатов работы опытного образца льдоскалывателя навесного и рабочего органа машины для разрушения снежно-ледяных образований на дорогах, входящих в «Механизированный комплекс для очистки дорог и тротуаров в зимнее время», изготовленных на средства проекта, на оборудовании ВКГТУ им.Д.Серикбаева при технической поддержке специалистов ВКФ ТОО "Евротехсервис К".

3. Испытания провести на участках подъездной автодороги к территории дислокации ВКФ ТОО "Евротехсервис К" по улице Пушкина 80 п. Белоусовка и близлежащих участках дороги, с соблюдением техники безопасности и визуальным оповещением, и регулированием участников дорожного движения на данных местах проведения испытаний в период с 14 января по 14 марта 2020 г.

Директор
ВКФ ТОО "Евротехсервис К"



Дыдышко В.К.

УТВЕРЖДАЮ

Директор ВКФ
ТОО "Евротехсервис К"



В.К. Дыдышко

«18» марта 2020 г.

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по НРИИ
ВКГТУ им. Д. Серикбаева



О.Д. Гавриленко

«18» марта 2020 г.

АКТ № 3

промышленных испытаний

Опытно-промышленного образца льдоскалывателя самоходного

«18» марта 2020 г.

г. Усть-Каменогорск

Комиссия по проведению промышленных испытаний опытно-промышленного образца льдоскалывателя самоходного в составе:

председатель: директор ВКФ ТОО "Евротехсервис К" В.К. Дыдышко,

члены комиссии: зам.директора ВКФ ТОО "Евротехсервис К" Прокудин О.Ю.; гл. механик Строкатов С.В.; начальник участка сервиса ГШО Зубенко С.В.; преподаватели ВКГТУ им. Д. Серикбаева: М.В. Дудкин, В.В. Роговский, А.И. Ким, Г.А. Гурьянов, А.В. Вавилов, Е.Л. Дудкина, М.Т. Елеукенов, А.Б. Бугаев, К.К. Комбаев., назначенная приказом по ВКФ ТОО "Евротехсервис К" № 04 от «14» января 2020г., провела промышленные испытания опытно-промышленного образца льдоскалывателя самоходного (далее – объект испытаний).

Место проведения испытаний – г. Усть-Каменогорск, территория ВКФ ТОО "Евротехсервис К".

1. Комиссией установлено

1.1. Программа промышленных испытаний опытно-промышленного образца льдоскалывателя самоходного выполнена полностью.

1.2. Состав и комплектность объекта испытаний соответствует технической документации, а конструкция опытно-промышленного образца льдоскалывателя выполнена в соответствии с утвержденными чертежами и технической документацией.

1.3. Опытно-промышленный образец объекта испытаний и его техническая документация выдержали опытно-промышленные испытания по Программе и методикам ГОСТ 12367-85.

2. Выводы

2.1 Объект испытаний соответствует всем требованиям, заданным техническим заданием Договора с МОН РК № 104 от «5» марта 2018г., по теме (AP05130746) «Механизированный комплекс для очистки дорог и тротуаров в зимнее время».

2.2. Техническая документация на объект испытаний в техническом и патентно-правовом аспекте пригодна для постановки на производство и последующей реализации продукции.

2.3. Осуществлена юридическая и патентная защита объекта испытаний, как интеллектуальной собственности авторов темы.

2.4. Опытно-промышленный образец льдоскалывателя самоходного может быть принят в качестве промышленного образца для разработки документации для его изготовления силами дорожно-обслуживающих предприятий с соблюдением авторских прав его создателей.

3. Замечания и рекомендации

3.1. Присвоить в дальнейшем рабочей конструкторской документации на изделие Льдоскалыватель шифр ЛС 00.000.

3.2. Согласовать (при внедрении) технические условия на Льдоскалыватель с требованиями заказчика (в случае их появления).

3.3. Рекомендуются доработать конструкцию разрушающего лед рабочего органа объекта испытаний.

3.4. При дальнейшем проектировании и изготовлении опытно-промышленного образца Льдоскалывателя учесть возможность использования его как навесное оборудование к трактору МТЗ Беларусь или как сменный рабочий орган к коммунальной щетке с механическим приводом.

Председатель комиссии

Члены комиссии



В.К. Дыдышко

О.Ю. Прокудин

С.В. Строкатов

С.В. Зубенко

М.В. Дудкин

А.В. Вавилов

А.И. Ким

В.В. Роговский

Г.А. Гурьянов

Е.Л. Дудкина

М.Т. Елеуенов

А.Б. Бугаев

К.К. Комбаев

Mlynczak Marek

г. Усть-Каменогорск

«18» марта 2020г.

АКТ ПРОМЫШЛЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ

опытного образца навесного оборудования и самопередвигающейся ручной машины с рабочим органом для разрушения снежно-ледяных образований на дорогах с инерционными элементами различной геометрической формы и рабочего органа машины для разрушения снежно-ледяных образований на дорогах, с общим опытно-промышленным названием «Механизированный комплекс для очистки дорог и тротуаров в зимнее время», изготовленных в ВКГТУ им.Д.Серикбаева при технической поддержке специалистов ВКФ ТОО "Евротехсервис К" по оригинальной технической документации (проект АР05130746).

Приемочная комиссия в составе:

Председатель:

Директор ВКФ ТОО "Евротехсервис К"

Дыдышко В.К.

члены комиссии:

Зам.директора ВКФ ТОО "Евротехсервис К"

Прокудин О.Ю.

Гл. механик ВКФ ТОО "Евротехсервис К"

Строкатов С.В.

Начальник участка сервис ГШО ВКФ ТОО "Евротехсервис К"

Зубенко С.В.

участники и исполнители проекта:

М.В. Дудкин, В.В. Роговский, А.И. Ким, Г.А. Гурьянов, А.В. Вавилов, М.Т. Елеуенов, А.Б. Бугаев, Д.Е. Елемес,

на основании приказа № 04 от 14 января 2020 года и в соответствии с программой и методикой испытаний (ВКГТУ) провела приемочные промышленные испытания опытно-промышленного образца льдоскалывателя навесного, изготовленного по результатам работы, чертежам и технологическим материалам проекта (АР05130746) «Механизированный комплекс для очистки дорог и тротуаров в зимнее время», и установила:

1. Опытный образец льдоскалывателя навесного, изготовленного по результатам работы, чертежам и технологическим материалам проекта (АР05130746) «Механизированный комплекс для очистки дорог и тротуаров в зимнее время» полностью соответствует техническому заданию и рабочей документации вышеуказанного проекта;
2. Техническая документация на изготовление льдоскалывателя навесного, выполненная в процессе плановых работ по календарному плану проекта (АР05130746) «Механизированный комплекс для очистки дорог и тротуаров в зимнее время» не требует доработки по комплектности, компетентности и по содержанию.

Приемочные испытания опытно-промышленного образца льдоскалывателя навесного, с инерционными элементами различной геометрической формы, проводились на участках подъездной автодороги к территории дислокации ВКФ ТОО "Евротехсервис К" по улице Пушкина 80 п. Белоусовка и близлежащих участках дороги в Восточно-Казахстанской области в период с 14 января по 17 марта 2020 г., по методике проекта (АР05130746) «Механизированный комплекс для очистки дорог и тротуаров в зимнее время», выполняемого Восточно-Казахстанским государственным техническим университетом. В период испытаний исследовалась эффективность работы льдоскалывателя навесного при очистке дорог и тротуаров в зимнее время.

Данные опытного льдоскалывателя: диаметр разлета инерционных элементов, м, не менее 0,55+0,02; длина льдоскалывателя по рабочим инерционным элементам, м, не менее 1,5; масса льдоскалывателя, кг, не более 435; средняя наработка на отказ, ч, не менее 100; «заглубление» льдоскалывателя не более 30-35 мм; возможные скорости вращения рабочего органа льдоскалывателя: 240 об/мин; 420 об/мин; 540 об/мин; 840 об/мин и 1200 об/мин.

Все результаты испытаний сведены в таблицы и переданы для обработки на ЭВМ специалистам с целью построения диаграмм сравнения эффективности скалывания льда навесным льдоскалывателем с инерционными элементами различной геометрической формы.

Учитывая положительные характеристики процесса скалывания льда и очистки автомобильных дорог от снежно-ледяных образований и льда навесным льдоскалывателем с инерционными элементами различной геометрической формы, комиссия считает опытный образец льдоскалывателя выдержавшим приемочные испытания и рекомендует его для внедрения в производство с внесением следующих рекомендаций и изменений в конструкции:

1. Для эксплуатации льдоскалывателя с механическим приводом рабочего вала, использовать только рабочую скорость, соответствующую скорости (одну из двух) вращения вала отбора мощности базовой машины, соответствующей 540 об/мин и 1200 об/мин;

2. Рабочий орган льдоскалывателя в целях безопасности должен закрываться наружным кожухом, предохраняющим как от разброса скалываемого льда, так и от возможного отрыва инерционных элементов льдоскалывателя;

3. В течении первых трех лет эксплуатации производить контрольную проверку результатов испытаний опытного образца льдоскалывателя с фиксацией всех замеряемых параметров для дальнейшей их обработки.

Председатель комиссии:

Директор ВКФ ТОО "Евротехсервис К"

Дыдышко В.К.

члены комиссии:

Зам.директора ВКФ ТОО "Евротехсервис К"

Прокудин О.Ю.

Гл. механик ВКФ ТОО "Евротехсервис К"

Строкатов С.В.

**Начальник участка сервис ГШО
ВКФ ТОО "Евротехсервис К"**

Зубенко С.В.

Руководитель проекта AP05130746

Дудкин М.В.

научные сотрудники проекта:

Роговский В.В.

Ким А.И.

Дудкина Е.Л.

Гурьянов Г.А.

Вавилов А.В.

Елеукинов М.Т.

Бугаев А.Б.

Млынчак М.

Елемес Д.Е.



Handwritten signatures of the commission members and project leader, including a signature that appears to be 'Зубенко'.

Handwritten signatures of the project's scientific staff, including a signature that appears to be 'Млынчак'.

г. Усть-Каменогорск

«18» марта 2020г.

АКТ ПРИЕМКИ ОПЫТНОГО ОБРАЗЦА

навесного оборудования и самопередвигающейся ручной машины с рабочим органом для разрушения снежно-ледяных образований на дорогах с инерционными элементами различной геометрической формы и рабочего органа машины для разрушения снежно-ледяных образований на дорогах, с общим опытно-промышленным названием «Механизированный комплекс для очистки дорог и тротуаров в зимнее время».

Приемочной комиссией, на основании приказа № 04 от 14 января 2020 года, в соответствии с утвержденной программой и методикой испытаний, проведены испытания и приемка опытно-промышленного образца навесного оборудования и самопередвигающейся ручной машины с рабочим органом для разрушения снежно-ледяных образований на дорогах с инерционными элементами различной геометрической формы и рабочего органа машины для разрушения снежно-ледяных образований на дорогах, рабочий орган которой был изготовлен по оригинальной технической документации ВКГТУ им. Д.Серикбаева.

Комиссия считает представленный опытно-промышленный образец льдоскалывателя с инерционными элементами различной геометрической формы выдержавшим производственные (промышленные) приемочные испытания и предлагает рекомендовать его к внедрению в производство.

Председатель комиссии:**Директор ВКФ ТОО "Евротехсервис К"****члены комиссии:****Зам.директора ВКФ ТОО "Евротехсервис К"****Гл. механик ВКФ ТОО "Евротехсервис К"****Начальник участка сервис ГШО
ВКФ ТОО "Евротехсервис К"****Руководитель проекта AP05130746****научные сотрудники проекта:**
Дыдышко В.К.
Прокудин О.Ю.
Строкотов С.В.
Зубенко С.В.
Дудкин М.В.
Роговский В.В.
Ким А.И.
Гурьянов Г.А.
Дудкина Е.Л.
Бавилов А.В.
Елеукунов М.Т.
Бугаев А.Б.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

опытного образца навесного оборудования и самопередвигающейся ручной машины с рабочими органами для разрушения снежно-ледяных образований на дорогах с общим опытно-промышленным названием «Механизированный комплекс для очистки дорог и тротуаров в зимнее время» изготовленного в ВКГТУ им. Д.Серикбаева при технической поддержке специалистов ВКФ ТОО «Евротехсервис К» по оригинальной технической документации (проект АР05130746).

Навесное оборудование и самопередвигающаяся ручная машина с рабочим органом для разрушения снежно-ледяных образований на дорогах с инерционными элементами различной геометрической формы для разрушения снежно-ледяных образований на дорогах, с общим опытно-промышленным названием «Механизированный комплекс для очистки дорог и тротуаров в зимнее время» изготовленного в ВКГТУ им. Д.Серикбаева при технической поддержке специалистов ВКФ ТОО «Евротехсервис К» по оригинальным чертежам и технической документации (проект АР05130746) был принят ТОО «Евротехсервис К» для выполнения работ по очистке несущей поверхности автомобильных дорог от слежавшегося снега и снежно-ледяных образований, а также чистого льда при проведении плановых очистных работ на участках подъездной автодороги к территории дислокации ВКФ ТОО «Евротехсервис К» по улице Пушкина 80, п. Белоусовка и близлежащих участках дороги в Восточно-Казахстанской области в период с 14 января по 14 марта 2020 г. Для дальнейшего использования льдоскалывателей и возможности их изготовления собственными силами, с указанного времени испытаний и внедрения и по сегодняшний день (14.03-06.08.2020), согласовывалась техническая документация на передаваемое оборудование.

Полученный экономический эффект (без учета колебания цен на топливо) от использования данного льдоскалывателя при выполнении работ по очистке несущей поверхности автомобильных дорог от слежавшегося снега, снежно-ледяных образований и чистого льда составил 0,48 тг/м² (с каждого очищенного м²). Экономический эффект определен при проведении работ в зимний период времени с 14 января по 14 марта 2020 г. по методике, разработанной докторантами PhD Бугаевым А.Б. и Елеукуновым М.Т.

Председатель комиссии:**Директор ВКФ ТОО «Евротехсервис К»****члены комиссии:****Зам.директора ВКФ ТОО «Евротехсервис К»****Гл. механик ВКФ ТОО «Евротехсервис К»****Начальник участка сервис ГШО
ВКФ ТОО «Евротехсервис К»****Руководитель проекта АР05130746****научные сотрудники проекта:****Дыдышко В.К.****Прокудин О.Ю.****Строкатов С.В.****Зубенко С.В.****Дудкин М.В.****Роговский В.В.****Ким А.И.****Гурьянов Г.А.****Дудкина Е.Л.****Елеукунов М.Т.****Бугаев А.Б.****Елемес Д.Е.**



EUROTECHSERVICE K

ВК филиал ТОО «Евротехсервис К», Республика Казахстан
г. Усть-Каменогорск, пр. Абая 205, тел/факс.8-7232-55-03-01, 55-08-37, 23-06-02.

г. Усть-Каменогорск

«6» августа 2020г.

СПРАВКА О ПРАКТИЧЕСКОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ (ВНЕДРЕНИИ)

результатов научно-исследовательской работы (AP05130746) «Механизированный комплекс для очистки дорог и тротуаров в зимнее время»

Настоящим подтверждаем, что результаты научно-исследовательской работы (AP05130746) «Механизированный комплекс для очистки дорог и тротуаров в зимнее время», выполненной при участии докторантов PhD ВКГТУ им. Д.Серикбаева Елеукенова М.Т. и Бугаева А.Б., а также научных сотрудников проекта М.В. Дудкина, В.В. Роговского, А.И. Ким, Г.А. Гурьянова, Е.Л. Дудкиной, А.В. Вавилова и Д.Е. Елемес, приняты для дальнейшего использования при очистке городских территорий от снежно-ледяных образований и тонкого льда, а также при модернизации коммунального щеточного оборудования для зимнего использования.

В частности, на производственной базе ВКФ ТОО «Евротехсервис К» налажен участок по изготовлению съемных звеньев рабочего органа льдоскалывателя, а для опытных конструкторских работ используется алгоритм расчета параметров модернизируемых коммунальных щеток с рабочими органами льдоскалывателей с инерционными элементами различной геометрической формы.

Председатель комиссии:

Директор ВКФ ТОО "Евротехсервис К"

Дыдышко В.К.

члены комиссии:

Зам.директора ВКФ ТОО "Евротехсервис К"

Прокудин О.Ю.

Гл. механик ВКФ ТОО "Евротехсервис К"

Строкатов С.В.

**Начальник участка сервис ГШО
ВКФ ТОО "Евротехсервис К"**

Зубенко С.В.

Руководитель проекта AP05130746

Дудкин М.В.

(KADUROV, Zhanat Nurgaldyevich), мкр. Тастыбулак, СТ Алматы, Алматы, 050000, Алмату (KZ).

(74) Агент: ТОЛЫБАЕВ, Жалғас Маматолыч (TOIYBAUEV, Zhalgas Mamatolich), ул. 38, 34/1-79, Нур-Султан, 010000, Nur-Sultan (KZ).

(81) Указанные государства (если не указано иное, для каждого вида национальной охраны): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BI, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Указанные государства (если не указано иное, для каждого вида национальной охраны): AR, AU, BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), европейский (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), европейский патент (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, IL, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), ОАР (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Опубликовано: — с ссылкой на международный патент (статья 21.3)

нижней части и коническим режущим лезвием в вершней. Между правыми поперечными границами своего пика встроены упругодеформируемые элементы. На наружной поверхности цилиндрического корпуса между пиками установлены конические остроугольные шипы, расстояние от вершины которых до центральной оси вращения равно расстоянию от вершины режущих элементов до этой же оси.

(19) Всемирная Организация Интеллектуальной Собственности
Международное бюро

(43) Дата международной публикации
09 апреля 2020 (09.04.2020) WIPO | PCT

(10) Номер международной публикации
WO 2020/071891 A1

(51) Международная патентная классификация:
E01H 5/2 (2006.01)

(71) Номер международной заявки: PCT/KZ2019/000005

(72) Дата международной подачи: 29 апреля 2019 (29.04.2019)

(73) Язык публикации: Русский

(74) Язык публикации: Русский

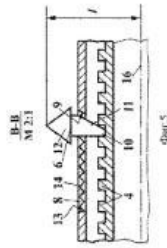
(75) Данные о приоритете: 2018/0686.1 02 октября 2018 (02.10.2018) KZ

(76) Заявитель: КИМ, Анна Игоревна (KIM, Anna Igorevna) (KZ/KZ), ул. Вокзальная, 57, Усть-Каменогорск, 070000, Усть-Каменогорск (KZ).

(77) Изобретатель: КИМ, Анна Игоревна (KIM, Anna Igorevna) (KZ/KZ), ул. Вокзальная, 57, Усть-Каменогорск, 070000, Усть-Каменогорск (KZ).

(54) Title: WORKING MEMBER OF A MACHINE FOR REMOVING LAYERS OF SNOW AND ICE FROM ROAD SURFACES
(55) Название изобретения: РАБОЧИЙ ОРГАН МАШИНЫ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ СНЕЖНО-ЛЕДЯНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ С ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ

(57) Abstract: A working member of a machine for removing layers of snow and ice from road surfaces comprises a horizontal shaft with a screw-type guide arranged in a helical line along the length thereof, said screw-type guide having cutting elements mounted on its surface. The helical surface of the screw-type guide is configured in the form of a rectangular groove oriented toward the centre of the shaft and having transverse corrugations along its entire length. The working member also comprises a cylindrical body rigidly and coaxially connected to the drive shaft, said cylindrical body having rectangular through grooves arranged equidistantly throughout the length of the circumference; in different longitudinal portions of the body and parallel to the axis of rotation, said rectangular through grooves having a single bevel at the end, and cutting elements in the form of inserts having a rectangular base and a single bevel in the lower part and a conical cutting blade in the upper part. Elastically deformable elements are disposed between the straight lateral edges of a through groove. On the outer surface of the cylindrical body conical pointed studs are mounted between the grooves, the distance from the tips of said studs to the central axis of rotation being equal to the distance from the tips of the cutting elements to said axis.



(57) Реферат: Рабочий орган машины для удаления снежно-ледяных образований с дорожного покрытия содержит горизонтальный вал с резьбовым направляющим элементом, расположенным по винтовой линии шнековой направляющей с установленными на ее поверхности режущими элементами. Винтовая поверхность шнековой направляющей выполнена в виде направленного в центр вала прямого продольного паза с поперечными рифлениями по всей длине паза. Рабочий орган также включает жестко связанной с приводным валом и coaxially с ним расположенный цилиндрический корпус с равномерно расположенными по длине окружности на разных диаметрах участками и ориентированными параллельно оси вращения прямого продольного сквозного паза, имеющего с одной стороны острую кромку и с другой стороны в виде вставки с острым концом, расстояние от вершины которой до центральной оси вращения равно расстоянию от вершины режущих элементов до этой же оси.

[продолжение на следующей странице]

Изобретение относится к городской коммунальной технике, а именно к машинам для очистки автодорог от снежно-ледяных образований.

Известны рабочие органы ледоскалывающей машины по а.с. СССР № 1427022, МПК E01H 5/12, опублик. в БИ № 36, 1988 г. и а.с. СССР № 1677155, МПК E01H 5/12, опублик. в БИ № 34, 1991 г., общим недостатком которых является низкая эффективность работы из-за слабой ударной силы разрушающего элемента. Конструкции известных рабочих органов сложны, ненадежны в работе.

Известен рабочий орган для очистки дорожных покрытий от льда по а.с. СССР № 1765275, МПК E01H 5/12, опублик. в БИ № 36, 1992 г., к недостаткам которого относятся ненадежность в работе из-за высокой вероятности заклинивания режущих насадок в случае попадания инородного тела в пространство между приводным барабаном и ледяным покрытием.

Известен рабочий орган для разрушения льда на автодорогах по иннов. пат. РК № 27059, МПК E01H 5/12, опублик. в БИ № 6, 2013 г., к недостатку которого относятся низкая эффективность разрушения уплотненного снега и льда и вследствие этого низкое качество очистки дорожных покрытий.

Известно устройство для разрушения снежно-ледяных образований на дорожных покрытиях по Евраз. Пат. № 02042281, МПК E01H 5/12, опублик. 28.11.2014 г., к недостаткам которого относятся сложность конструкции и низкая эффективность скоса снежно-ледяных образований.

Известен рабочий орган ледоскалывающей машины по а.с. СССР № 1730335, МПК E01H 5/12, опублик. в БИ № 16, 1992 г., к недостаткам которого относятся сложность и нетехнологичность изготовления самого рабочего органа и высокая энергозатратность.

Известен рабочий орган для разрушения льда на автодорогах по иннов. пат. РК № 29156, МПК E01H 5/12, опублик. в БИ № 11, 2014 г., к недостаткам которого относятся сложность конструкции (например, кулачков различных форм), ненадежность работы (поломка и затупление кулачков), негативное воздействие на дорожное полотно (трещины, парашины, полесы и др. повреждения от ударного воздействия кулачков).

Известен рабочий орган для разрушения льда на автодорогах по иннов. пат. РК № 23189, МПК E01H 5/12, опублик. в БИ № 11, 2010 г., к недостаткам которого относятся ограниченные функционально-технологические возможности рабочего органа, высокая вероятность повреждения дорожного покрытия в процессе очистки.

Известен рабочий орган для разрушения уплотненной среды на дорожном покрытии по а.с. СССР № 1622498, МПК E01H 5/12, опублик. в БИ № 3, 1991 г., к недостаткам которого относятся низкая надежность работы (например, заклинивание двухзвенного механизма) и низкое качество уборки.

Наиболее близким по технической сущности к предлагаемому является рабочий орган для разрушения льда на автодорогах по а.с. СССР № 159034, МПК E01H 5/12, опублик. в БИ № 15, 1990 г. Данное техническое решение принято за прототип к предлагаемому.

Известный рабочий орган содержит гидравлический барабан с горизонтальной осью вращения с закрепленными на его внешней поверхности в шахматном порядке и выполненными в виде цепей ударниками.

К недостаткам известного технического решения относятся низкая эффективность работы из-за недостаточного механического воздействия на слой льда. Эмпирически доказано, что для эффективного скалывания слоя льда необходимо чередующееся комплексное воздействие, а именно точечное и попеременно-линейное разнонаправленное ударное воздействие.

Технический результат от использования предлагаемого изобретения заключается в повышении эффективности работы рабочего органа за счет создания точечного и попеременно-линейного разнонаправленного ударного воздействия на разрушаемый слой льда.

Указанный технический результат достигается за счет того, что в рабочем органе для разрушения льда на автодорогах, содержащем гидравлический барабан с горизонтальной осью вращения с закрепленными на его внешней поверхности в шахматном порядке и выполненными в виде цепей ударниками, барабан выполнен сборным из двух концентрично размещенных олин в другом цилиндров, связанных между собой упругодеформируемым элементом в виде многослойной спиральной пружины кручения; рабочий орган содержит систему управления, состоящую из микропроцессорного блока управления, блока изменения направления вращения и блока временной задержки вращения внутреннего ведущего цилиндра с регулируемым приводом; цепи ударников выполнены чередующимися через одну как прикрепленные олин или двумя концами к наружному цилиндру барабана, при этом оносторонние прикрепленные цепи дополнительно оснащены грузом в виде многовершинной остроугольной пирамиды и имеют длину, не превышающую половину длины цепи, двумя концами прикрепленной к наружному цилиндру барабана.

Изобретение дополнительно иллюстрировано, где на фиг. 1 изображен автомобиль с рабочим органом, вид сбоку; на фиг. 2 - вид А на фиг. 1; на фиг. 3 - разрез Б-Б на фиг. 2.

Заключением рабочего органа смонтирован на базовом автомобиле 1 посредством подвешенной толкающей рамы 2 и гидrocилиндра 3. Рабочий орган содержит гидравлический барабан с горизонтальной осью вращения с закрепленными на его внешней поверхности в шахматном порядке и выполненными в виде цепей ударниками.

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента (51) Int. Cl. E01H 5/12 (2006.01)

(21) Номер заявки 2019.01.29

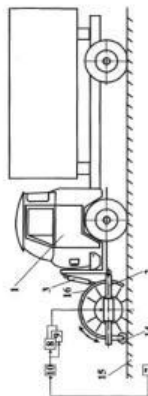
(22) Дата подачи заявки 2019.05.16

(54) РАБОЧИЙ ОРГАН ДЛЯ РАЗРУШЕНИЯ ЛЬДА НА АВТОДОРОГАХ

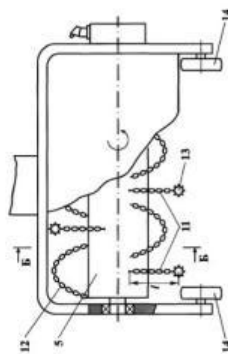
(43) 2020.11.30 (56) RU-C1-2463407
SU-A1-1418387
(96) KZ2019/043 (KZ) 2019.05.16
(71)(73) Заявитель и патентовладелец
РП НА ПХВ "ВОСТОЧНО-КАЗАХСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Д. СЕРКЕБЕВА" МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН (KZ)

(72) Изобретатель:
Дускин Михаил Васильевич, Кам
Алина Игоревна, Бутаев Акдир
Борисович, Елеусынов Мурат
Толтебекович, Дускина Елена
Леонидовна, Темирбеков Ербол
Садугасович, Бостанов Баянды
Оспанович, Роговский Валерий
Владимирович, Кадиров Жаннат
Нургалеевич (KZ)

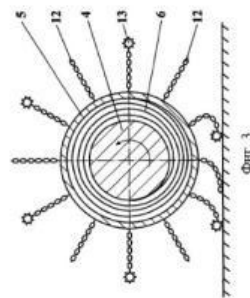
(57) Изобретение относится к городской коммунальной технике, а именно к машинам для очистки автодорог от снежно-ледяных образований. Технический результат от использования предлагаемого изобретения заключается в повышении эффективности работы рабочего органа за счет создания точечного и попеременно-линейного разнонаправленного ударного воздействия на разрушаемый слой льда. Барабан выполнен сборным из двух концентрично размещенных олин в другом цилиндров, связанных между собой упругодеформируемым элементом в виде многослойной спиральной пружины кручения; рабочий орган содержит систему управления, состоящую из микропроцессорного блока управления, блока изменения направления вращения и блока временной задержки вращения внутреннего ведущего цилиндра с регулируемым приводом; цепи ударников выполнены чередующимися через одну как прикрепленные олин или двумя концами к наружному цилиндру барабана, при этом оносторонние прикрепленные цепи дополнительно оснащены грузом в виде многовершинной остроугольной пирамиды и имеют длину, не превышающую половину длины цепи, двумя концами прикрепленной к наружному цилиндру барабана.



Фиг. 1



Фиг. 2

Б.В.
М.З.П.

Фиг. 3

В соответствии с предлагаемыми изобретением барабан рабочего органа выполнен сборным и состоит из двух размещенных один в одном концентричных цилиндров 4 и 5, связанных между собой упругодеформируемым элементом, например многослойной спиральной пружины 6 кручения (фиг. 3), изготовленной из материала со стабильными упругими характеристиками, например пружинно-рессорной стали 65Г. Пружина 6 размещена в пространстве между цилиндрами 4 и накручивается на ведущий цилиндр 4.

В состав рабочего органа входит система управления, состоящая из микропроцессорного блока управления 7, регулируемого привода 8 вращения цилиндра 4, блока 9, изменяющего направления его вращения и блока 10 временной задержки.

Цепи ударинок выполнены чередующимися через одну прикрепленными одним 11 или двумя 12 концами к внешнему барабану 5 рабочего органа. Односторонне прикрепленные цепи 11 дополнительно оснащены грузом в виде многоугольной остроугольной пирамиды 13 и имеют длину 1, не превышающую половину длины двух концами прикрепленной к барабану 5 цепи 12.

Рабочий орган с помощью опорных колес 14 опирается на покрытое льдом дорожное покрытие 15 и закрыт снизу предосторожностями кожухом 16.

Рабочим органом пользуются следующим образом.

Базовый автомобиль с рабочим органом перемещается по автодороге. По сигналам от микропроцессорного блока управления 7 от регулируемого привода 8 вращается барабан 4 в любом, например, попутном или противоположном попутному направлению. Пружина 6 накручивается до упора на барабан 4, после чего спиральное вращательное движение в том же направлении получает и барабан 5, ударики 11 и 12 которого наносят, соответственно, точечные или поперечно-линейные удары по ледяной поверхности автодороги, комплексно воздействуя на нее и разрушая (ускалывая) сплошные слои льда.

По сигналам управления от блока 7 происходит периодическое срабатывание блока 9 изменения направления вращения барабана 4 (или) блока 10 временной задержки. Алгоритм работы рабочего органа выбирается любым - от строго последовательного функционирования до адаптивного, изменяющегося по направлению и времени воздействия на ледяное покрытие, что расширяет функциональные возможности рабочего органа и позволяет разрушать разнотипные и отличающиеся по конфигурации ледяные образования на дорогах.

Дополнительное ударно-разрушительное точечное воздействие оказывают односторонние прикрепленные к барабану цепи 11 с остроугольными пирамидами 13 на кончиках. Выбрав скорость вращения сборного барабана, изменяя направление вращения ведущего барабана 4, создавая разновременную нагрузку в управляющих воздействиях, можно добиться полного разрушения любой толщины и конфигурации слоя льда. При значительной временной нагрузке за счет упругодеформационного "заряда" намотанной на барабан 4 пружины 6 происходит самопроизвольное реверсивное разрушающее пружины 6 с внешним барабаном 5 с удариками 11 и 12. Одновременно наличие в пространстве между цилиндрами 4 и 5 упругодеформационного элемента (пружина 6) обеспечивает незначительную упругодеформационную податливость самого цилиндра 5 с удариками 11 и 12, что позволяет копировать (повторять) сложные конфигурации дорожного полотна.

Рабочий орган эффективен в работе, безмерзбоек, прост по конструкции, хорошо пружинит, не требует обслуживания.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

Рабочий орган для разрушения льда на автодорогах, содержащий цилиндрический барабан с горизонтальной осью вращения с закрепленными на его внешней поверхности в шахматном порядке и взаимополными в виде цепей ударики, отличающийся тем, что барабан выполнен сборным из двух концентрично размещенных один в другом цилиндров, связанных между собой упругодеформируемым элементом в виде многослойной спиральной пружины кручения, рабочий орган содержит систему управления, состоящую из микропроцессорного блока управления, блока изменения направления вращения и блока временной задержки вращения ведущего цилиндра с регулируемым приводом; цепи ударинок выполнены чередующимися через одну как прикрепленные одним или двумя концами к наружному цилиндру барабана, при этом односторонне прикрепленные цепи дополнительно оснащены грузом в виде многоугольной остроугольной пирамиды и имеют длину, не превышающую половину длины цепи, двумя концами прикрепленной к наружному цилиндру барабана.



РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН

(19) **KZ** (13) **B** (11) 34377

(51) *E01H 5/12* (2006.01)

МИНИСТЕРСТВО ЮСТИЦИИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

К ПАТЕНТУ

(21) 2019/300.1
(22) 26.04.2019
(25) 05.06.2020, бюл. №22
(72) Дуэкин Михаил Васильевич; Кям Аллина Игоревна; Буаев Андрей Борисович; Елеусенов Мурат Токбаевич; Дуэкина Елена Леонидовна; Тоспаев Ербол Садуақасович; Бостанов Баянды Османович; Ротоскин Валерий Владимирович; Калдаров Жаннат Нуралыевич (73) Калдаров Жаннат Нуралыевич (56) SU 1622498, 23.01.1991
(56) SU 1930291 A1, 23.04.1988
RU 2485970 C1, 20.07.2013

(54) РАБОЧИЙ ОРГАН ДЛЯ РАЗРУШЕНИЯ УПАКОВАННОЙ СРЕДЫ НА ДОРОЖНОМ ПОКРЫТИИ

(57) Изобретение относится к дорожно-коммунальному машиностроению, а точнее, к устройству для удаления (уборки) упавшего на дорожных покрытиях в разные временные периоды результата от использования изобретения заключается в расширении функциональных возможностей и повышении надежности работы рабочего органа.

(21) 2019/0300.1

(22) 26.04.2019

(77) Дзюлин Михаил

Игнатьева; Багваев Андрей Борисович; Елеусенов
Мурат Тоскельбеков; Дуалина Елена Леонидовна;
Темирбеков Ербол Садуахасович; Бостанов Баянды
Оспанович; Ротоский Валерий Владимирович;
Кадиров Жаннат Нургаалиевна

SU 1390291 A1, 23.04.1988

(54) РАБОЧИЙ ОРГАН ЛЛ
RU 2487970 C1, 20.07.2013

УПЛОТНЁННОЙ СРЕДЫ И

ПОКРЫТИИ

(54) РАБОЧИЙ ОРГАН ДЛЯ РАЗРУШЕНИЯ
УПЛОТНЁННОЙ СРЕДЫ НА ДОРОЖНОМ
ПОКРЫТИИ

(57) Изобретение относится к дорожно-коммунальному машиностроению, а точнее, к устройствам для удаления (уборки) уплотнений на дорожных покрытиях в разные временные периоды года.

Технический результат от использования предлагаемого изобретения заключается в расширении функциональных возможностей при выполнении работ, в том числе повышении надёжности работы рабочего органа.

[illegible]

Известно устройство для разрушения снежно-ледяных образований на дорожных покрытиях по патенту № 2004/042281 МПК E01H 5/12, опубликованному в Бюл. № 11, 2005 г.

Так, расположенная между плечами (рычагами) двухстороннего механизма упругодеформационное звено – плоская пружина – не обеспечивает их возврат в исходное положение, что приводит к неопределённости в положении в пространстве барабана с разрушаемыми элементами. Конструкция самого двухстороннего механизма не обеспечивает его выдвигания в радиальном направлении под действием центробежных сил. Эти и другие причины приводят к уменьшению площади ускоренного дорожного покрытия, к снижению эффективности работы всего рабочего органа.

Технический результат от использования предлагаемого изобретения заключается в расширении функциональных возможностей и улучшении технических характеристик, в том числе повышении надежности работы двигателя, а также в увеличении вероятности предотвращения дребезга двигателя.

Указанный технический результат достигается за счёт того, что в рабочем органе для разрушения уплотнительной среды на дорожном покрытии, содержащем односторонне открытый поперечный барбан с размещением в нём горизонтальных привинтов вальом с смонтированным на нём с возможностью осевого перемещения и срабатывания от центробежных сил шарнирным двухрусным приводом и закреплённым на двухрусных шарнирных элементах, при этом один свободные концы шарнирных двухрусных элементов привода выполнены приваренными к торцовой стенке полого барбана с возможностью одноосевого с барбаном смещения вальом.

Изобретение относится к дорожно-коммунальному машиностроению, а точнее, к устройствам для удаления (уборки) уплотнений на дорожных покрытиях в разные временные периоды года.

Известен рабочий орган для скалывания шпиль
машины по А.С.СССР №1730335, МПК E01H 5/12,
опубл. в БИ №16, 1992г., к недостаткам которого
относятся сложность и нетехнологичность
изготовления самого рабочего органа и высокая
энергоёмкость.

Известно устройство для разрушения снежно-ледяных образований на дорожных покрытиях по пат. №0204422В1 МПК E01H 5/12, опубли. 28.11.2014 г., в недостаткам которого относятся сложность конструкции и низкая эффективность скола снежно-ледяных образований.

Известен рабочий орган для разрушения льда на автодорогах по Иннов. Пат. РК №27059, МПК E01H 5/82, опубли. в БИ №6, 2013г., к недостатку которого относится низкая эффективность разрушения отполированного снега и льда и, вследствие этого, низкое качество очистки дорожных покрытий.

Известен рабочий орган для разрушения льда на автодорогах по Иннов. Пат. РК №23189, МПК E01H 5/12, опубли. в БИ №11, 2010г., с недостатком которого относятся ограниченные функционально-технологические возможности рабочего органа, высокая вероятность повреждения дорожного покрытия в процессе очистки.

Известен рабочий орган по Ас-СССР №1765275, МПК E01N 5/12, опублик. в БИ №36, 1992г., к недостаткам которого относится нецелесообразность в работе из-за высокой вероятности заклинивания режущих насадок в случае попадания инородного тела в пространство между приводным барабаном и вращаемым конусом.

Известны рабочие органы, выполняющие функции по обеспечению безопасности при эксплуатации машин и механизмов, в том числе:

- АБС (Антиблокировочная Система) - устройство, предотвращающее блокировку колес при торможении;
- ЭПД (Электронный Параллельный Дифференциал) - устройство, позволяющее распределять крутящий момент между осями автомобиля;
- ЭПС (Электронный Параллельный Стабилизатор) - устройство, позволяющее стабилизировать автомобиль на дороге;
- ЭРП (Электронный Релевантный Препаратор) - устройство, позволяющее определять состояние дорожного покрытия;
- ЭРС (Электронный Релевантный Сигнализатор) - устройство, позволяющее предупреждать водителя об опасности.

Известиями рабочих органов для разрешения спора на арбитражном уровне по Исковому Пр. №29156, МПК ЕОИН №15/512, отб. в БИ №11, 2014г., к недостаткам которого относятся сложность конструкций различных форм, например, кулачков (подложка и затупление (подложка) и затупление (подложка), негативное воздействие на дорожное покрытие (риски, параличи, полосы и др. последствия от удара от воздействия кулачков).

Наиболее близким по технической сущности и решаемой задаче является техническое решение по А.С.СССР №1622498, МПК ЕОИН 5/12, отб. в БИ №15, 1991г. Данное техническое решение признано за прототипом в данном изобретении.

Известный рабочий орган содержит односторонне открытый полый барабан с размещённым в нём горизонтальным приводным валом с

РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН



(19) KZ (13) B (11) 34424
(51) E01H 5/12 (2006.01)

МИНИСТЕРСТВО ЮСТИЦИИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ
К ПАТЕНТУ

(21) 2019/0297.1

(22) 26.04.2019

(45) 26.06.2020, бюл. №25

(72) Дудкин Михаил Васильевич; Ким Алина

Игоревна; Бугаев Андрей Борисович; Елеукинов

Мурат Толеубекович; Дудкина Елена Леонидовна;

Темирбеков Ербол Салухасович; Бостанов Баянды

Оспанович; Роговский Валерий Владимирович;

Кадыров Жаннат Нургалеевич

(73) Кадыров Жаннат Нургалеевич

(56) SU 1622498 A1, 23.01.1991

RU 2463407 C1, 10.10.2012

SU 1418393 A1, 23.08.1988

(54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ РАЗРУШЕНИЯ
СНЕЖНО-ЛЕДЯНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ НА
ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЯХ(57) Изобретение относится к устройствам для
разрушения снежно-ледяных образований и
гололеда на автомобильных дорожных покрытиях,
аэродромах, открытых площадях и других
сооружениях, и объектах.

Технический результат от использования
предлагаемого изобретения заключается в
повышении эффективности скола снежно-ледяных
образований за счёт более полного охвата площади
скола и в повышении надёжности его
функционального замыкания подтяжных звеньев
и кинематического замыкания подтяжных звеньев
устройства, выравнивания податливостей звеньев, в
устранении ненадёжных в работе деталей, звеньев и
кинематических пар.

Корпус устройства прикреплён к опорной плите с
помощью неподвижного сферического
шарнира с возможностью разнонаправленного
углового разворота корпуса на угол $\pm 30^\circ$
относительно направления движения устройства,
полюс горизонтальный приводной вал выполнен в
виде закрытого с одного конца торцевой стенкой
цилиндра с равномерно расположенными на
поверхности цилиндра в шахматном порядке
радиальными отверстиями и изготовленными на
противоположном конце цилиндра внутренними
зубьями, в состав устройства дополнительно введён
вращающийся цилиндрический кулачок с
выпуклой поверхностью по спирали Архимеда рабочей
поверхностью, с шейкой которого связано
колено, взаимодействующее с дополнительным
введённым в состав устройства промежуточным
зубчатым колесом, при этом ось цилиндра и кулачка
выполнены соосными, внутренние зубья приводного
цилиндра связаны с центральным зубчатым колесом
через промежуточное зубчатое колесо, а
прикреплённые снаружи к радиальным отверстиям
цилиндра упорные втулки выполнены сборными и
состоящими из радиально ориентированных в
поверхности цилиндра втулок с размещёнными в
каждой из них подвижными в радиальном
направлении подпружиненными центрирующими
дисками и толкателями, последние кинематически
принудительно замкнуто контактируют с рабочей
поверхностью цилиндрического кулачка.

34424

Изобретение относится к устройствам для
разрушения снежно-ледяных образований и
гололеда на автомобильных дорожных покрытиях,
аэродромах, открытых площадях и других
сооружениях, и объектах.

Известен рабочий орган для очистки дорожных
покрытий от льда по А.С.СССР №1765275, МПК
E01H 5/12, опубл. в БИ №36, 1992г., к недостаткам
которого относятся ненадёжность в работе из-за
высокой вероятности заклинивания режущих
насадок в случае попадания инородного тела в
пространство между приводным барабаном и
лежачим покрытием.

Известен рабочий орган для разрушения льда на
автодорогах по Инов.Пат. РК №29156, МПК E01H
5/12, опубл. в БИ №11, 2014г., к недостаткам
которого относятся сложность конструкции
(например, кулачков различных форм),
ненадёжность работы (поломка и затупление
кулачков), негативное воздействие на дорожное
покрытие (риски, парашины, полосы и др.
повреждения от ударного воздействия кулачков).

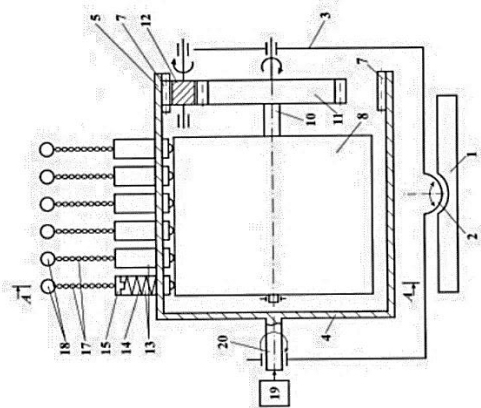
Известны рабочие органы льдоскалывающей
машины по А.С.СССР №1427022, МПК E01H 5/12,
опубл. в БИ №36, 1988г., и А.С.СССР №1677155,
МПК E01H 5/12, опубл. в БИ №34, 1991г., общим
недостатком которых является низкая
эффективность работы из-за слабой ударной силы
разрушающего элемента. Конструкция известных
рабочих органов сложна, ненадёжна в работе.

Известен рабочий орган для разрушения льда на
автодорогах по Инов.Пат. РК №27059, МПК E01H
5/12, опубл. в БИ №6, 2013г., к недостатку которого
относится низкая эффективность разрушения
уплотнённого снега и льда и, вследствие этого,
низкое качество очистки дорожных покрытий.
Известен рабочий орган льдоскалывающей
машины по А.С.СССР №1730335, МПК E01H 5/12,
опубл. в БИ №16, 1992г., к недостаткам которого
относится сложность и нетехнологичность
изготовления самого рабочего органа и высокая
энергоёмкость.

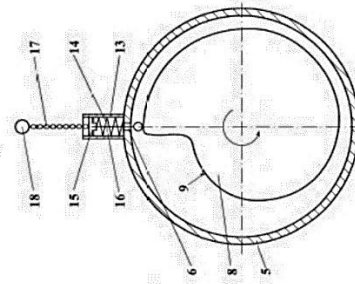
Известен рабочий орган для разрушения
уплотнённой среды на дорожном покрытии по
А.С.СССР №1622498, МПК E01H 5/12, опубл. в БИ
№3, 1991г., к недостаткам которого относятся
низкая надёжность работы (например, заклинивание
двухшестового механизма), и низкое качество уборки.

Известен рабочий орган для разрушения льда на
автодорогах по Инов.Пат. РК №23189, МПК E01H
5/12, опубл. в БИ №11, 2010г., к недостаткам
которого относятся ограниченные функционально-
технологические возможности рабочего органа,
высокая вероятность повреждения дорожного
покрытия в процессе очистки.

Наиболее близким по технической сущности к
предлагаемому является устройство для разрушения
снежно-ледяных образований на дорожных
покрытиях по Европ.Пат. №020422 В1, МПК E01H
5/12, опубл. 28.11.2014 г. Данное техническое
решение принято за прототип к предлагаемому.



Фиг.1



Фиг.2

углового разворота корпуса на угол $\pm 30^\circ$ относительно направления движения устройства. Устройство имеет в составе полой горизонтальный приводной вал, выполненный в виде закрытого с одного конца торцевой стенки 4 цилиндра 5 с равномерно расположенными на его поверхности в шахматном порядке радиальными отверстиями 6. На противоположном конце цилиндра 5 изготовлены внутренние зубья 7.

В состав устройства дополнительно введен цилиндрический кулачок 8 с выполненной по спирали Архимеда рабочей поверхностью 9. С шейкой 10 кулачка осесимметрично связано центральное зубчатое колесо 11, взаимодействующее с дополнительно введенным в состав устройства промежуточным зубчатым колесом 12. Оси цилиндра 5 и кулачка 8 выполнены соосными. Внутренние зубья 7 приводного цилиндра 5 связаны с центральным зубчатым колесом 11 через промежуточное зубчатое колесо 12.

Снаружи к радиальным отверстиям 6 цилиндра 5 прикреплены сборные упорные втулки, состоящие из радиально ориентированных к поверхности цилиндра 5 втулок 13 с размещенными в каждой из них подвижными в радиальном направлении подпружиненными пружинами 14 центрирующими дисками 15 и толкателями 16, кинематически приводящими-замкнуто контактирующими с рабочей поверхностью 9 цилиндрического кулачка 8. С внешней стороны к центрирующим дискам 15 прикреплены гибкие звенья, выполненные, например, в виде цепи 17 с ударниками 18.

Устройство для разрушения снежно-ледяных образований на дорожных покрытиях работает следующим образом.

При вращении от привода 19 полого горизонтального приводного вала 20 с цилиндром 5 вращаются и кинематически связанные с ним зубчатые колеса 12 и 11, а также связанные с ними кулачок 8. Взаимодействующие с рабочей поверхностью 9 кулачка 8 подпружиненные пружинами 14 толкатели 16 перемещают в радиальном направлении центрирующие диски 15 вместе с гибкими звеньями 17 с ударниками 18. Последние наносят точечные удары по обледеневшему дорожному покрытию, раскалывая и измельчая его. Удары наносятся на значительной по величине поверхности охвата, ограниченной угловым сектором в $\pm 30^\circ$ (при развороте опорной плиты 1) и величиной полдвѣ "S" выполненной по спирали Архимеда рабочей поверхности 9 кулачка 8. Частота нанесения ударов зависит как от угловой скорости вращения приводного цилиндра 5, так и от

передаточного соотношения зубьев колес 11 и 12. Подбором зубьев колес 11 и 12 и выбором частоты вращения приводного цилиндра 5 (при наличии регулируемого привода) можно добиться как максимального охвата поверхности обработки (разрушения) снежно-ледяных образований, так и качества разрушения (за счет увеличения количества ударных воздействий на единицу площади).

Устройство просто и надежно в эксплуатации, позволяет качественно и на большой площади разрушать снежно-ледяные образования.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

Устройство для разрушения снежно-ледяных образований на дорожных покрытиях, содержащее прикрепленный к опорной плите с помощью в составе полой горизонтальной приводной вал, на котором смонтированы титы с ударниками, **отличающееся** тем, что корпус устройства прикреплен к опорной плите с помощью неповоротного сферического шарнира с возможностью разнонаправленного углового разворота корпуса на угол $\pm 30^\circ$ относительно направления движения устройства, полой горизонтальной приводной вал выполнен в виде закрытого с одного конца торцевой стенки цилиндра с равномерно расположенными на поверхности цилиндра в шахматном порядке радиальными отверстиями и изготовленными на противоположном конце цилиндра внутренними зубьями, в состав устройства дополнительно введен вращающийся цилиндрический кулачок с выполненной по спирали Архимеда рабочей

поверхностью, с шейкой которого связано осесимметричное с кулачком центральное зубчатое колесо, взаимодействующее с дополнительно введенным в состав устройства промежуточным зубчатым колесом, при этом оси цилиндра и кулачка выполнены соосными, внутренние зубья приводного цилиндра связаны с центральным зубчатым колесом через промежуточное зубчатое колесо, а прикрепленные снаружи к радиальным отверстиям цилиндра упорные втулки выполнены сборными и состоящими из радиально ориентированных к поверхности цилиндра втулок с размещенными в каждой из них подвижными в радиальном направлении подпружиненными центрирующими дисками и толкателями, последние кинематически приводятся замкнуто контактируют с рабочей поверхностью цилиндрического кулачка.



РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН

(19) KZ (13) B (11) 34067
(51) E01H 5/12 (2006.01)

МИНИСТЕРСТВО ЮСТИЦИИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ
К ПАТЕНТУ

(21) 2018/0687.1 обеспечением высокого качества очистки поверхностей.

(22) 02.10.2018

(45) 20.12.2019, бюл. №51

(72) Дудкин Михаил Васильевич (KZ); Ким Алina Игоревна (KZ); Гурьянов Георгий Александрович (KZ); Елеуенов Мурат Толеубекович (KZ); Млыначак Марек Ян (PL); Бугаев Андрей Борисович (KZ); Кадыров Жаннат Нургалеевич (KZ)

(73) Кадыров Жаннат Нургалеевич (KZ)

(56) RU 2398928 C1, 10.09.2010

SU 70157, 31.01.1948

SU 962422, 30.09.1982

(54) ЦИЛИНДРИЧЕСКАЯ ШЁТКА ДЛЯ ОЧИСТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ

(57) Изобретение относится к очистной технике и касается устройств для очистки любых плоских поверхностей - поверхностей дорожных покрытий, плоских металлических изделий и других.

Технический результат от использования предлагаемого изобретения заключается в повышении эффективности работы устройства за счёт повышения производительности работы с

34067

центральных втулок, режущих вставок, при этом геометрические центры отверстий втулок распределены в плане в проекции на плоскость по спирали Архимеда.

Изобретение дополнительно иллюстрировано, где на фиг.1 схематично изображена цилиндрическая шётка (вид сбоку); на фиг.2 - ударный элемент.

Цилиндрическая шётка для очистки поверхностей выполнена сборной и состоящей из объединённых вдоль оси 1 приводного вала наборных секций из ударных элементов 2. Каждый ударный элемент 2 выполнен в виде тонкостенного диска, состоящего из прикреплённых к центральной втулке 3 с отверстием 4 трёх угловых режущих вставок 5.

Вставки 5 разделены между собой радиальными и ориентированными по касательной к наружному диаметру центральной втулки ребрами жёсткости 6. Отверстие 4 центральной втулки выполнено эллипсовидным и состоящим из смещённых на величину эксцентриситета «е» двух отверстий.

В собранном виде конструкция шётки представляет собой наборную секцию из контактирующих торцовыми поверхностями центральных втулок 3 режущих вставок 5. При этом каждая последующая вставка смещена в радиальном и угловом направлении по отношению к предыдущей таким образом, что геометрические центры вставок распределены в плане в проекции на плоскость по спирали Архимеда.

Цилиндрическая шётка используется следующим образом. Собирают шётку, насаживая на приводной вал (на фиг. не показан) наборные секции из ударных элементов 2 таким образом, чтобы каждая последующая режущая вставка была смещена в радиальном и угловом направлении по отношению к предыдущей (фиг.1), а геометрические центры отверстий вставок были распределены в плане (в проекции на плоскость) по спирали Архимеда с величиной подъёма спирали «е». Смещение вставок обеспечивает эллипсовидную форму отверстия 4, при этом должно соблюдаться условие «е»-ш, где «е» - величина эксцентриситета смещённых отверстий 4, ш - подъём спирали Архимеда. Длина рабочей части шётки равна длине приводного вала и представляет объединение нескольких наборных секций из ударных элементов.

В собранном виде цилиндрическая шётка устанавливается как подвижное оборудование на стационарные дорожные машины вместо стандартного шёточного оборудования. При вращении шётки за счёт ударного взаимодействия режущих вставок с дорожным покрытием происходит резание и скалывание уплотнённых участков и очистки всей поверхности дорожного покрытия по ширине её рабочей части. Конструкция легко собирается, монтируется и при необходимости мобильно демонтируется и ремонтируется или перенасаживается на другую конфигурацию режущей части, например, с разной величиной подъёма спирали Архимеда.

Конструкция шётки проста, не требует сложной обработки.

Указанный технический результат достигнут за счёт того, что в цилиндрической шётке для очистки поверхностей, содержащей корпус и приводной вал с многосекторными режущими элементами, конструкция шётки выполнена сборной и состоящей из объединённых вдоль оси приводного вала наборных секций из ударных элементов, каждый ударный элемент выполнен в виде тонкостенного диска, состоящего из прикреплённых к центральной втулке с отверстием не менее трёх угловых режущих вставок, вставки разделены между собой радиальными и ориентированными по касательной к наружному диаметру центральной втулки ребрами жёсткости, отверстие центральной втулки выполнено эллипсовидным и состоящим из смещённых на величину эксцентриситета двух отверстий, при этом в собранном виде конструкция шётки представляет собой объединённые по длине приводного вала наборные секции из контактирующих торцовыми поверхностями



РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН

(19) KZ (13) B (11) 33963
(51) E01H 1/02 (2006.01)

МИНИСТЕРСТВО ЮСТИЦИИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

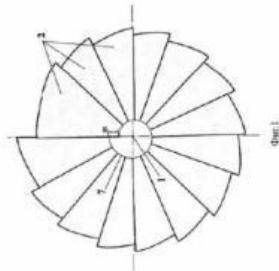
- (21) 2018/0689.1
(22) 02.10.2018
(45) 18.10.2019, бюл. №42
(72) Дудкин Михаил Васильевич (KZ); Ким Алпа Игоревна (KZ); Гуриянов Георгий Александрович (KZ); Елеукинов Мурат Толесубович (KZ); Млыначак Марек Ян (PL); Бугаев Андрей Борисович (KZ); Кадаров Жаннат Нургалеевич (KZ)
(73) Кадаров Жаннат Нургалеевич
(56) SU 1643655 A1, 23.04.1991
BY 909 U, 30.06.2003
RU 61101 U1, 27.02.2007
(54) **ШЕТКА ПОДМЕТАЛЬНО-УБОРОЧНОЙ МАШИНЫ**
(57) Изобретение относится к коммунальным машинам для уборки городских дорог от снега.
- Технический результат от использования предлагаемого изобретения заключается в расширении функциональных возможностей устройства, в частности, в возможности использования его при уборке снежно-ледяных образований на тротуарах без повреждения при этом наружного слоя тротуарных плиток.
- Щетка дополнительно оснащена размещёнными между секциями с ворсом ударными секциями с бойками, при этом упругодеформируемые элементы установлены по обе стороны всех секций, секции с бойками выполнены подпружиненно-телескопически-выдвижными, а сами бойки выполнены в виде вращающихся на осях бойков с поперечными остроугольными рифлениями по наружной поверхности.

34067

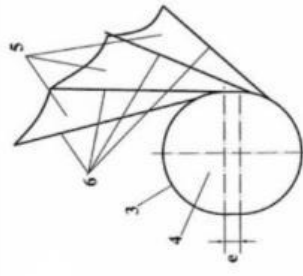
ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

Цилиндрическая щетка для очистки поверхностей, содержащая корпус и приводной вал с многосекторными режущими элементами, отличающаяся тем, что конструкция щетки выполнена сборной и состоящей из обьединённых вдоль оси приводного вала наборных секций из ударных элементов, каждый ударный элемент выполнен в виде тонкостенного диска, состоящего из приварённых к центральной втулке с отверстием не менее трёх угловых режущих вставок, вставки разделены между собой

разнодлинными и ориентированными по касательной к наружному диаметру центральной втулки ребрами жёсткости, отверстие центральной втулки выполнено зашипованным и состоящим из смежных на величину эксцентриситета двух отверстий, при этом в собранном виде конструкция щетки представляет собой обьединённые по длине приводного вала наборные секции из контактирующих торцовыми поверхностями центральными втулками, режущих вставок, при этом геометрические центры отверстий втулок распределены в плане в проекции на плоскость по спирали Архимеда.

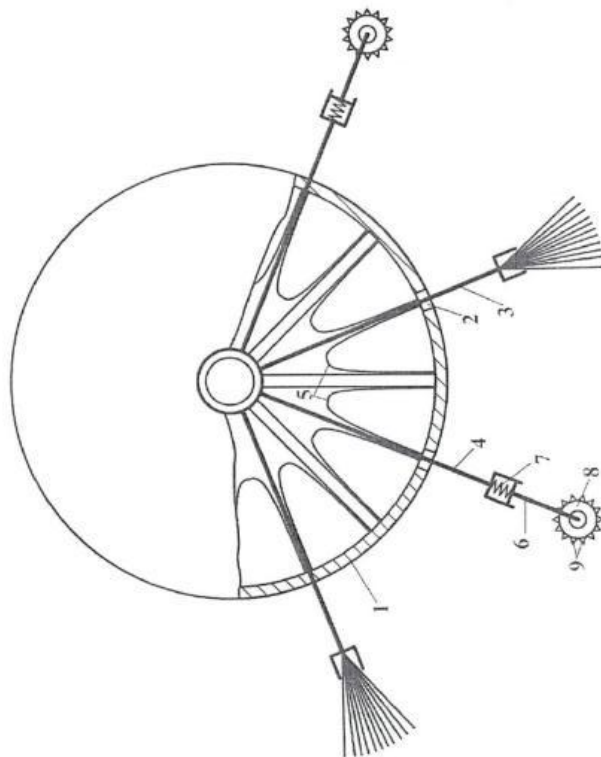


Фиг.1



Фиг.2

Верстка Ф. Соколова
Корректор Б. Омарова



Фиг. 1

Верстка 3. Абылкаева
Корректор Б. Омарова

3

Изобретение относится к коммунальным машинам для уборки городских дорог от снега.

Известны технические решения, например, по А.с.СССР №549139, МПК E01H 1/02, 1975 г., А.с.СССР №1687700, МПК E01H 1/02, опубли. в БИ №40, 1991 г., А.с.СССР №1474208, МПК E01H 1/02, 1987 г. и другие.

Общим недостатком известных технических решений является сложность конструкции и низкая эффективность работы, приводящие к неудовлетворительному качеству уборки дорожных покрытий и тротуаров от снега и уплотнённых образований.

Наиболее близким по технической сущности к предлагаемому является техническое решение по А.с.СССР №1643655, МПК E01H 1/02, опубли. в БИ №15, 1991 г. Данное техническое решение принято за прототип к предлагаемому.

Известная щётка содержит помещённую внутрь полого барабана с прорезами по наружной цилиндрической поверхности приводную ось, в прорезах барабана размещены выполненные с возможностью радиально-углового перемещения, подпружиненные упругодеформируемым элементом секции с ворсом.

К недостаткам известного технического решения относятся ограниченные функциональные возможности.

Технический результат от использования предлагаемого изобретения заключается в расширении функциональных возможностей устройства, в частности, в возможности использования его при уборке снежно-ледяных образований на тротуарах без повреждения при этом наружного слоя тротуарных плиток.

Указанный технический результат достигнут за счёт того, что щётка подметально-уборочной машины, содержащая помещённую внутрь полого барабана с прорезами по наружной цилиндрической поверхности приводную ось, в прорезах барабана размещены выполненные с возможностью радиально-углового перемещения, подпружиненные упругодеформируемым элементом секции с ворсом, дополнительно оснащена размещёнными между секциями с ворсом ударными секциями с бойками, при этом упругодеформируемые элементы установлены по обе стороны всех секций, секции с бойками выполнены подпружиненно-телескопически-выдвижными, а сами бойки выполнены в виде вращающихся на осях бойков с поперечными остроугольными рифлениями по наружной поверхности.

Изобретение дополнительно иллюстрировано, где на фиг. 1 схематично изображена конструкция предлагаемой щётки (две секции).

Щётка подметально-уборочной машины содержит полый барабан 1 с прорезами 2 на

наружной цилиндрической поверхности. В прорезах 2 размещены установленные через один секции 3 с ворсом и секции 4 с бойками. Секции 3 и 4 выполнены с возможностью радиально-углового реверсивного перемещения и подпружинены с обеих сторон упругодеформируемыми элементами 5 (перемещение осуществляются в пределах упругодеформационных изгибов элементов 5).

Секции 4 с бойками выполнены телескопическими по конструкции с возможностью выдвижения центральных штифтов 6. Штифты 6 подпружинены упругодеформационными элементами 7, например, пружинной сжатия, и пьют на концах вращающихся на осях бойков 8. На наружной поверхности бойков 8 изготовлены остроугольные (например, треугольные) рифления 9.

Щёткой пользуются следующим образом.

Её монтируют на автомобильном базовом шасси. При вращении щётки под действием центробежных сил секции щёток входят в контакт с дорожной поверхностью, при этом секции 4 с бойками обеспечивают измельчение смета, а секции 3 с ворсом - перемещение смета в пневмотранспортное устройство машины (на фиг. не показано). При этом при контакте секций с поверхностью смета на дорожном полотне происходит периодическое упругодеформационное сжатие-выпрямление элементов 5. Секции могут смещаться в пределах прорезей 2 барабана 1. При контакте секций 4 с бойками происходит также упругодеформационное сжатие элементов 7. Рифления 9 на бойках 8 позволяют измельчать смет.

Устройство конструктивно не сложно, удобно в работе, ремонтнопригодно, нематериалоёмко.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

Щётка подметально-уборочной машины, содержащая помещённую внутрь полого барабана с прорезами по наружной цилиндрической поверхности приводную ось, в прорезах барабана размещены выполненные с возможностью радиально-углового перемещения, подпружиненные упругодеформируемым элементом секции с ворсом, отличающаяся тем, что щётка дополнительно оснащена размещёнными между секциями с ворсом ударными секциями с бойками, при этом упругодеформируемые элементы установлены по обе стороны всех секций, секции с бойками выполнены подпружиненно-телескопически-выдвижными, а сами бойки выполнены в виде вращающихся на осях бойков с поперечными остроугольными рифлениями по наружной поверхности.

РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН



(19) KZ (13) B (11) 34011
(51) E01H 5/12 (2006.01)
A46B 7/10 (2006.01)
E01H 1/02 (2006.01)

МИНИСТЕРСТВО ЮСТИЦИИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ
К ПАТЕНТУ

снежно-ледяных отложений и слежавшегося мусора и может использоваться для очистки дорог и тротуаров.

Технический результат от использования предлагаемого изобретения заключается в повышении эффективности работы устройства за счёт быстрого и надёжного разрушения уплотнённых образований на дорожных покрытиях.

Каждый боек выполнен сборным и состоящим из цилиндрического корпуса, внутри которого размещается упругодеформируемый элемент поршня, к выходному концу которого прикреплен полукруглый секторный боек, корпуса бойков ориентированы по касательной к наружному диаметру цилиндрической втулки и жёстко прикреплены к ней.

(21) 2018/0688.1

(22) 02.10.2018

(45) 15.11.2019, бюл. №46

(72) Дудкин Михаил Васильевич (KZ); Ким Алма Игоревна (KZ); Гурьянов Георгий Александрович (KZ); Елеукинов Мурат Топеубекович (KZ); Млыначак Марек Ян (PL); Бугаев Андрей Борисович (KZ); Кадаров Жаннат Нургалеевич (KZ)
(73) Кадаров Жаннат Нургалеевич (KZ)
(56) KZ 32090, 30.05.2017

<http://www.vestnik.nauka.kz/wp-content/uploads/2015/10/12-Дудкин-Пичугин-Метод.разрушения-ледяных-покрыт.pdf>, 12.10.2015

SU 985193, 30.12.1982

(54) ЦИЛИНДРИЧЕСКАЯ ЩЁТКА ДЛЯ УБОРКИ ЛЬДА

(57) Изобретение относится к устройствам разрушения и очистки дорожных поверхностей от

34011

диаметру цилиндрической втулки и жёстко прикреплены к ней.

Изобретение дополнительно иллюстрировано, где на фиг.1 схематично изображена конструкция предлагаемой щётки.

Цилиндрическая щётка для уборки льда содержит вращающуюся вместе с приводным валом 1 цилиндрическую втулку 2 с равномерно расположенными по окружности бойками ударного действия. Каждый боек выполнен сборным и состоящим из цилиндрического корпуса 3, внутри которого размещается упругодеформируемый элемент 4, например, упругодеформируемым элементом 4, например, пружинной сжатия, поршень 5, к выходному концу которого прикреплен полукруглый (запирающий) угловой секторное пространство не менее 180° боек 6. Корпуса 3 бойков ориентированы по касательной к наружному диаметру цилиндрической втулки 2 и жёстко прикреплены к ней.

Щёткой пользуются следующим образом.

Привод уборочной машины, двигающейся вдоль очищаемой поверхности, вращает цилиндрическую втулку 2. Вращение втулки 2 приводит к периодическим ударам контактам бойков 6 с поверхностью дороги 7. Бойки 6, работая как ударный инструмент, разбивают ледяное покрытие. Благодаря нанесённым на поверхность бойков риску 8 и форме бойка в виде полукруглого сектора, при ударе происходит быстрое и надёжное разрушение любого уплотнённого образования на дорожном покрытии. При ударе об лёд происходит упругодеформируемое сжатие элемента 4 (пружина сжатия). После чего, после выхода из контакта с дорожным покрытием бойка, поршень возвращается в исходное равновесное состояние.

Конструкция щётки проста, технологична в изготовлении, нематериальна.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

Цилиндрическая щётка для уборки льда, содержащая вращающуюся вместе с приводным валом цилиндрическую втулку с равномерно расположенными по окружности бойками ударного действия, отличающаяся тем, что каждый боек выполнен сборным и состоящим из цилиндрического корпуса, внутри которого размещается упругодеформируемый элемент поршня, к выходному концу которого прикреплен полукруглый секторный боек, корпуса бойков ориентированы по касательной к наружному диаметру цилиндрической втулки и жёстко прикреплены к ней.

Изобретение относится к устройствам разрушения и очистки дорожных поверхностей от снежно-ледяных отложений и слежавшегося мусора и может использоваться для очистки дорог и тротуаров.

Известны технические решения по А.С.СССР №1126641, МПК E01H 1/02, опубли. в БИ №44, 1984 г., А.С.СССР №1118340, МПК A46B 7/10, опубли. в БИ №38, 1984 г., А.С.СССР №1643655, МПК E01H 1/02, опубли. в БИ №15, 1991 г., А.С.СССР №1687700, МПК E01H 1/02, опубли. в БИ №40, 1991 г., А.С.СССР №1708384, МПК A46B 13/02, опубли. в БИ №4, 1992 г., А.С.СССР №725652, МПК A46B 7/10, опубли. в БИ №13, 1980 г., А.С.СССР №1220623, МПК A46B 7/10, опубли. в БИ №12, 1986 г., А.С.СССР №1771670, МПК A46B 7/10, опубли. в БИ №40, 1992 г., Подмод.РФ №129942, опубли. в БИ №19, 2013 г. и другие.

Общим недостатком известных технических решений является низкая эффективность очистки дорожных покрытий от льда и уплотнённого снега, высокая вероятность повреждения самого полотна дороги, высокая материалоемкость, конструктивная сложность и ненадёжность в работе.

Наиболее близким по технической сущности к предлагаемому является цилиндрическая щётка для уборки льда по Пат.РК №32090, МПК A46B 7/0, E01H 1/02, E01H 5/12, опубли. в БИ №10, 2017 г., содержащая вращающуюся вместе с приводным валом цилиндрическую втулку с равномерно расположенными по окружности бойками ударного действия.

Данное техническое решение принято за прототип к предлагаемому.

К недостатку известного технического решения относятся низкая эффективность разрушения снежно-ледяных образований и уплотнений на дорожном покрытии.

Технический результат от использования предлагаемого изобретения заключается в повышении эффективности работы устройства за счёт быстрого и надёжного разрушения уплотнённых образований на дорожных покрытиях. Указанный технический результат достигнут за счёт того, что в цилиндрической щётке для уборки льда, содержащей вращающуюся вместе с приводным валом цилиндрическую втулку с равномерно расположенными по окружности бойками ударного действия, каждый боек выполнен сборным и состоящим из цилиндрического корпуса, внутри которого размещается упругодеформируемый элемент поршня, к выходному концу которого прикреплен полукруглый секторный боек, корпуса бойков ориентированы по касательной к наружному диаметру цилиндрической втулки и жёстко прикреплены к ней.



РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН

(19) KZ (13) B (11) 34048
(51) A46B 7/10 (2006.01)
E01H 1/02 (2006.01)
E01H 5/12 (2006.01)

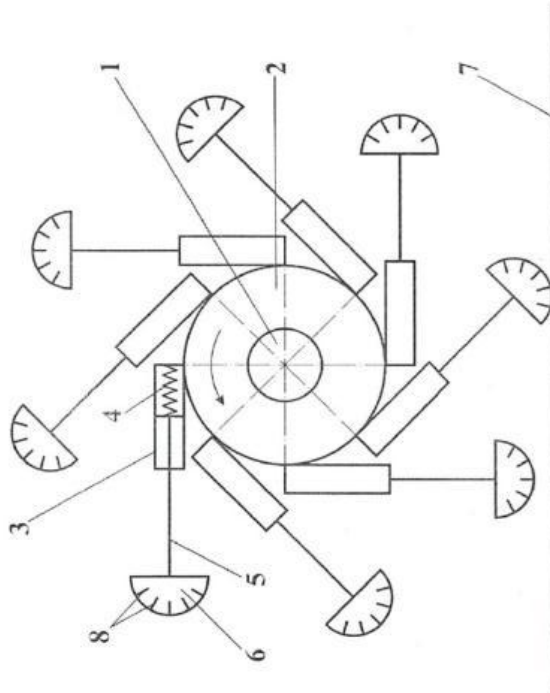
МИНИСТЕРСТВО ЮСТИЦИИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

- (21) 2018/0685.1
(22) 02.10.2018
(45) 13.12.2019, бюл. №50
(72) Дулкин Михаил Васильевич (KZ); Ким Алма Игоревна (KZ); Гуриянов Георгий Александрович (KZ); Елеуменов Мурат Толеубекович (KZ); Млыначак Марек Ян (PL); Бугаев Андрей Борисович (KZ); Калдаров Жаннат Нургалеевич (KZ)
(73) Калдаров Жаннат Нургалеевич (KZ)
(56) RU 50550 U1, 20.01.2006
KZ 32090 B, 30.05.2017
KZ 320 89 B, 30.05.2017
EA 022403 B1, 30.12.2015
CN 206887874 U, 16.01.2018
(54) СЕКЦИОННАЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКАЯ
ЩЁТКА ДЛЯ ДРОБЛЕНИЯ И УБОРКИ ЛЬДА
(57) Изобретение относится к устройствам для очистки дорожных покрытий от льда, уплотнённого

снега и слежавшегося мусора и может использоваться для очистки дорог и тротуаров.
Технический результат от использования предлагаемого изобретения заключается в повышении эффективности его работы за счёт увеличения кинетической энергии бойков, соответственно и увеличения их ударной нагрузки.
Гибкие связи выполнены в виде радиально ориентированных стержней с встроеными в их центральной части упругодеформируемыми элементами из материала со стабильными упругими характеристиками, а бойки выполнены в виде полых шаров с размещёнными внутри них металлическими шарами диаметром $d_{ш}=0,05...0,07 \cdot D_{б}$, где $d_{ш}$ и $D_{б}$ - соответственно, диаметры наружных поверхностей шаров и сфер.

34011



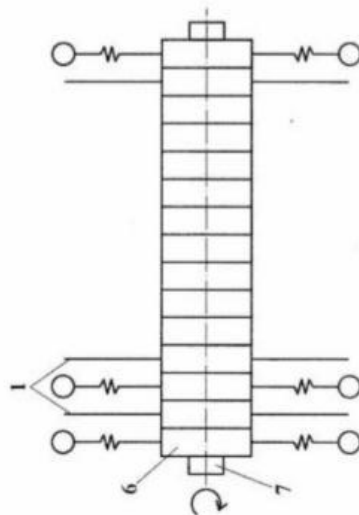
Фиг. 1

(19) KZ (13) B (11) 34048

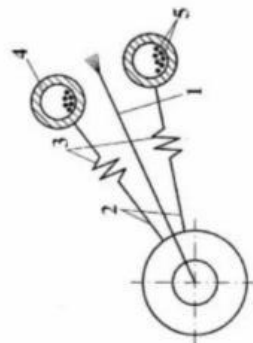
Верстка З. Абылкасымова
Корректор Б. Омарова

со стабильными упругими характеристиками, а соответственно, диаметры наружных поверхностей бойки выполнены в виде полых сфер с шаров и сфер.

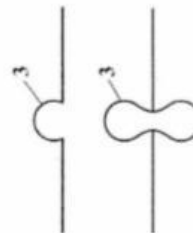
Размещёнными внутри них металлическими шариками диаметром $d_{ш}=0,05...0,07 \cdot D_{ф}$, где $d_{ш}$ и $D_{ф}$ -



Фиг.1



Фиг.2



Фиг.3

Верстка Ф. Сопакова
Корректор Г. Косанова

Изобретение относится к устройствам для очистки дорожных покрытий от льда, уплотнённого снега и слегающегося мусора и может использоваться для очистки дорог и тротуаров.

Известны технические решения по А.С.СССР №126641, МПК E01H 1/02, опубл. в БИ №44, 1984 г., А.С.СССР №118340, МПК A46B 7/10, опубл. в БИ №38, 1984 г., А.С.СССР №1643655, МПК E01H 1/02, опубл. в БИ №15, 1991 г., А.С.СССР №1687700, МПК E01H 1/02, опубл. в БИ №40, 1991 г., А.С.СССР №1708284, МПК A46B 13/02, опубл. в БИ №4, 1992 г., А.С.СССР №725652, МПК A46B 7/10, опубл. в БИ №13, 1980 г., А.С.СССР №1220623, МПК A46B 7/10, опубл. в БИ №12, 1986 г., А.С.СССР №17171670, МПК A46B 7/10, опубл. в БИ №40, 1992 г., Пат. РФ №129942, опубл. в БИ №19, 2013 г. и другие.

Общим недостатком известных технических решений является низкая эффективность очистки дорожных покрытий от льда и уплотнённого снега, высокая вероятность повреждения самого полотна дорог, высокая материалоемкость, конструктивная сложность и ненадежность в работе.

Наиболее близким по технической сущности к предлагаемому является техническое решение по Пат.РК №32089, МПК A46B 7/10, E01H 1/00, E01H 5/12, опубл. в БИ №10, 2017 г. Данное техническое решение принято за прототип к предлагаемому.

Известная цилиндрическая щётка содержит секции с ворсом и секции с бойками в виде закреплённых на свободных концах гибких связей бойков.

К недостаткам известного технического решения относятся следующие. Кинетической энергии бойков известной щётки недостаточно для разрушения льда, уплотнённого снега или слегающегося мусора, и для усиления его ударной нагрузки необходимо варьировать массой бойка, например, его утяжелением, что приводит к повышению материалоемкости бойков. Технический результат от использования предлагаемого изобретения заключается в повышении эффективности его работы за счёт усиления кинетической энергии бойков, соответственно и усиления их ударной нагрузки.

Указанный технический результат достигнут за счет того, что в секционной цилиндрической щётке для дробления и уборки льда, содержащей секции с ворсом и секции с бойками в виде закреплённых на свободных концах гибких связей бойков, гибкие связи выполнены в виде радиально ориентированных стержней с встроеными в их центральную часть упругодеформируемыми элементами из материала со стабильными упругими характеристиками, а бойки выполнены в виде полых сфер с размещёнными внутри них металлическими шариками диаметром $d_{ш}=0,05...0,07 \cdot D_{ф}$, где $d_{ш}$ и $D_{ф}$ - соответственно, диаметры наружных поверхностей шаров и сфер.

Изобретение дополнительно иллюстрировано, где на фиг.1 схематично изображена секционная цилиндрическая щётка, фронтальный вид; на фиг.2 - схематичное изображение крепления нескольких

бойков к сердечнику щётки; на фиг.3 - варианты конструкции встроённых в стержни упругодеформируемых элементов.

Секционная цилиндрическая щётка для дробления и уборки льда содержит секции 1 с ворсом и секции с бойками в виде закреплённых на свободных концах гибких связей бойков.

В соответствии с предлагаемым изобретением гибкие связи выполнены в виде радиально ориентированных стержней 2 с встроёнными в их центральной части упругодеформируемыми элементами 3, например, в виде пружины сжатия (фиг.1), позво- или неполипрофилано-амакрутых элементов (фиг.3). Элементы 3 изготовлены из материалов со стабильными упругими характеристиками, например, дисперсионно-твердеющих сплавов или пружинно-рессорных сталей.

Бойки выполнены в виде полых сфер 4 с размещёнными внутри них металлическими шариками 5 диаметром $d_{ш}=0,05...0,07 \cdot D_{ф}$, где $d_{ш}$ и $D_{ф}$ - соответственно, диаметры наружных поверхностей шаров 5 и сфер 4.

Щёткой пользуются следующим образом.

Все секции щётки закреплены на цилиндрических втулках 6, объединённых в единую конструкцию и жёстко связанных с приводным валом 7 коммутальной машины. При вращении вала 7 с втулками 6, бойки за счёт центробежных сил незначительно (в пределах упругих деформаций элементов 3) удаляются от центра, приобретая при этом «угруптий заряд». Одновременно с этим, хаотично расположенные внутри сфер 4 шарики 5 под действием совместного действия центробежных и гравитационных сил занимают в каждый момент времени произвольное положение, а в момент касания с очищаемой поверхностью создают дополнительное приращение величины ударного импульса. После чего, под действием элемента 3 приобретают свой первоначальный длинный размер. За один оборот щётки происходит пропорциональное количеству бойков число ударных воздействий на очищаемую поверхность. Скользящие части льда удаляются секциями 1 с ворсом. Диаметр секций 1 соответствует диаметру секции с бойками в их упруго-деформированном состоянии.

Устройство эффективно в работе, обеспечивает гарантированное разрушение на мелкие части льда и дальнейшую качественную очистку от них дорожного покрытия.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

Секционная цилиндрическая щётка для дробления и уборки льда, содержащая секции с ворсом и секции с бойками в виде закреплённых на свободных концах гибких связей бойков, отличающаяся тем, что гибкие связи выполнены в виде радиально ориентированных стержней с встроёнными в их центральной части упругодеформируемыми элементами из материала

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Сертификаты и дипломы по теме диссертации





МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

МОСКОВСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ (МАДИ)

ДИПЛОМ

II степени

присуждается

*Бугаеву
Андрею Борисовичу*

PhD студенту Восточно-Казахстанского государственного технического университета (Казахстан)
за лучший доклад и презентацию научной работы на 77 международной научно-методической
и научно-исследовательской конференции МАДИ в секции «Повышение эффективности
строительных, дорожных, коммунальных и аэродромных машин и оборудования»

Научный руководитель: доктор PhD., доцент А.И. КИМ

Проректор



Л.Л. Зиманов

