

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа новых производственных технологий

Направление подготовки: 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»

Отделение материаловедения

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование динамики устройства для очистки дорожных покрытий от наледи <u>УДК 625.768.5:531.3-047.37</u>

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8НМ61	Козырев Александр Николаевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Гаврилин Алексей Николаевич	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Хапёрская Алена Васильевна			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева Ирина Леонидовна			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ООП	Крауиньш Петр Янович	д.т.н.		

Томск – 2018 г.

ЗАПЛАНИРОВАННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ
по основной образовательной программе подготовки магистров по направлению 15.04.05
«Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», профиль
подготовки «Конструирование технологического оборудования»
ИШНПТ ТПУ, отделение материаловедения, руководитель ООП Крауиныш П. Я.

Код Результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Применять глубокие естественно-научные, математические и инженерные знания для создания нового технологического оборудования и его эксплуатации.	Требования ФГОС ВО (ПК-19, 20) ¹ , Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P2	Применять глубокие знания в области современных методов проектирования и технологий машиностроительного производства для решения междисциплинарных инженерных задач	Требования ФГОС ВО (ПК-1, ОК-8), Критерий 5 АИОР (пп. 1.1, 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа, связанные с созданием технологических машин и их эксплуатацией, с использованием производственных испытаний, системного анализа, моделирования объектов и процессов машиностроения	Требования ФГОС ВО (ПК-16, ОК-2, 3), Критерий 5 АИОР (пп. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P4	Разрабатывать и проектировать новое оборудование и технологические машины и использовать новое оборудование, и инструменты для производства изделий, конкурентоспособных на мировом рынке машиностроительного производства	Требования ФГОС ВО (ПК-5, 23, 26), Критерий 5 АИОР (п. 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования при создании современных высокоэффективных машин, технологий производства изделий, материалов, nano технологий.	Требования ФГОС ВО (ПК-21, 24, ОК-4, 6), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

¹ Указаны коды компетенций по ФГОС ВО (направление 15.04.05 – Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств),

P6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современные высокотехнологичные линии автоматизированного производства, обеспечивать их высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на машиностроительном производстве, выполнять требования по защите окружающей среды	Требования ФГОС ВО (ПК-1, 2, 4, 14, 15, 25), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<i>Универсальные компетенции</i>		
P7	Использовать глубокие знания по проектному менеджменту для ведения инновационной инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности	Требования ФГОС ВО (ПК-3, 8, 9, 10, 11, 12, 13), Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P8	Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности	Требования ФГОС ВО (ПК-7, ОК-9), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P9	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя группы, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации	Требования ФГОС ВО (ПК-6, 17, 18, ОК-10), Критерий 5 АИОР (пп. 1.6, 2.3.), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P10	Демонстрировать глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов инновационной инженерной деятельности, компетентность в вопросах устойчивого развития	Требования ФГОС ВО (ПК-22, ОК-7), Критерий 5 АИОР (пп. 2.4, 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P11	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности	Требования ФГОС ВО (ОК-1, 5), Критерий 5 АИОР (2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа новых производственных технологий

Направление подготовки: 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»

Отделение материаловедения

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
8НМ61	Козыреву Александру Николаевичу

Тема работы:

Исследование динамики устройства для очистки дорожных покрытий от наледи

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

Провести исследование динамики устройства для очистки дорожных покрытий от наледи. Определить оптимальные режимы работы устройства. Провести физический эксперимент на лабораторном стенде при резонансном режиме на холостом ходу.
Скорость движения транспортного средства принять от 0 до 20 км/ч.
Толщина дорожной наледи составляет от 1 до 200 мм

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Провести комплексный информационно-аналитический обзор методов и устройств, которые применяются для очистки дорожных покрытий от наледи. Оценить их достоинства и недостатки. На основе этого разработать принципиальную схему своего устройства. Составить расчетную схему и математическую модель. Провести экспериментальные исследования. Сделать выводы по полученным данным.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Принципиальная схема. Кинематическая схема. Структурная схема. Построить графики перемещения и скорости от времени. Показать на графике кинетическую энергию удара скальвающего инструмента.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Информационно-аналитический обзор	Гаврилин А.Н.
Расчеты и аналитика	Гаврилин А.Н.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Хапёрская А. В.
Социальная ответственность	Мезенцева И. Л.
Английский язык	Степура С. Н.

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

Информационно-аналитический обзор

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Гаврилин А. Н.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8НМ61	Козырев Александр Николаевич		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
8НМ61	Козырев Александр Николаевич

Школа	ИШНПТ	Отделение	Материаловедения
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

<p>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических; энергетических; финансовых; информационных и человеческих;</p> <p>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов;</p> <p>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования.</p>	<p>1. Объект - устройство для очистки дорожных покрытий от наледи.</p> <p>2. Ресурсы ТПУ (производственная площадка, лаборатория).</p> <p>3. Конкуренты: Stiga, ООО «Промавтомаш».</p> <p>4. Методические указания по проведению сравнительного анализа с конкурентами (оценочная карта технических решения).</p>
---	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ;</p> <p>2. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок;</p> <p>3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности.</p>	<p>1. Оценка потенциальных потребителей; SWOT-анализ; оценка готовности проекта к коммерциализации.</p> <p>2. Планирование этапов работы, определение календарного графика и трудоемкости разработки, расчет бюджета.</p> <p>3. Интегральный финансовый показатель. Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения разработки.</p>
---	---

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

<p>1. Карта сегментирования рынка</p> <p>2. Оценочная карта</p> <p>3. Матрица SWOT</p> <p>4. Календарный план-график</p>
--

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Хапёрская Алена Васильевна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8НМ61	Козырев Александр Николаевич		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
8НМ61	Козырев Александр Николаевич

Школа	ИШНПТ	Отделение	Материаловедения
Уровень образования	Магистратура	Направление/ специальность	15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования: устройство для очистки дорожных покрытий от наледи. Область применения: транспортное и коммунальное машиностроение.
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность	<ul style="list-style-type: none"> – повышенный уровень шума и вибрации на рабочем месте; – недостаточная освещенность рабочей зоны; – отклонение показателей микроклимата от нормы; – подвижные части колебательного контура устройства; – электрический ток.
2. Экологическая безопасность:	– анализ воздействия объекта на атмосферу и литосферу;
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<ul style="list-style-type: none"> – возникновение ЧС: пожара, транспортной аварии. – наиболее вероятная ЧС – пожар на рабочем месте. – Источники пожара: утечка топлива, замыкание электропроводки.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	– специальные правовые нормы трудового законодательства.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева Ирина Леонидовна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8НМ61	Козырев Александр Николаевич		

Реферат

Магистерская диссертация содержит 120 страницы, 66 рисунков, 30 таблиц, 58 источника, 6 приложений.

Ключевые слова: вибрация, вибрационный генератор, вибратор, очистка дорог, динамика устройства.

Объектом исследования является устройство для очистки дорожных покрытий от наледи.

Цель работы – исследование динамических процессов скалывающего инструмента в устройстве для очистки дорожных покрытий от наледи.

При выполнении магистерской диссертации принят комплексный характер, который содержит теоретические и экспериментальные исследования, математическое и физическое моделирование.

В магистерской диссертации предложен вариант комбинированной принципиальной схемы устройства. Представлены результаты испытаний, проведенные на лабораторном стенде. Проведен анализ динамических процессов работы устройства для очистки дорожных покрытий от наледи.

Научная новизна заключается в разработке математической модели работы устройства.

Основные конструктивные и технико-эксплуатационные показатели: минимальная масса устройства, заданная долговечность.

Степень внедрения на рынок высокая. Устройство является конкурентоспособным. Показатели: простая конструкция, низкая стоимость, небольшие энергетические затраты.

Область применения: транспортное и коммунальное машиностроение.

Эффективность разработанного устройства определяется повышением производительности и качества очистки дорог от наледи.

В будущем планируется провести анализ устройства и сравнить полученные значения с теоретическими.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ, НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В работе приняты следующие определения:

Динамические процессы – множество элементов, для которого задана функциональная зависимость между временем и положением в фазовом пространстве каждого элемента системы.

Математическая модель – приближенное описание объекта моделирования, выраженное с помощью математической символики.

Транспортное средство – техническое устройство для перевозки людей и/или грузов.

В работе приняты следующие сокращения:

ПГМ - противогололёдные материалы;

ТЗ – техническое задание;

ТС – транспортное средство;

РО – рабочий орган;

Р.В.Д. – рукав высокого давления;

$P, \Delta P, [Н/м^2]$ – давление и перепад давления;

$Q, [м^3/с]$ – расход жидкости;

$\omega, [1/с]$ – частота колебаний и круговая частота;

$\varphi, [рад]$ – текущее значение угла поворота вала гидромотора;

$t, T, [с]$ – время, постоянная времени;

$r, l, A, [м]$ – линейные размеры;

$J, [Н*м*с^2]$ – момент инерции подвижных частей;

$W_0, \Delta W [м^3]$ – объем жидкости, находящийся под давлением, изменение объема;

$\Psi, [м^3/рад]$ – характерный объем гидромотора (гидронасоса);

$K_{ут}, [м^5/Нс]$ – коэффициент утечек;

$E, [Н/м^2]$ – объемный модуль упругости;

$S=d/dt, [1/с]$ – оператор дифференцирования;

ξ – безразмерный коэффициент демпфирования;

ВКР – выпускная квалификационная работа;

НИИР – научно-исследовательская работа;

ХХ – холостой ход.

В работе приняты следующие нормативные ссылки:

1. ГОСТ 12.0.000-74. Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация
2. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки // Библиотека гостов и нормативов. 2016
3. ГОСТ 12.1.003-83. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности
4. ГОСТ 31319-2006. Вибрация. Измерение общей вибрации и оценка ее воздействия на человека. Требования к проведению измерений на рабочих местах
5. ГОСТ 12.1.012 – 2004. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вибрационная безопасность. Общие требования
6. ГОСТ 12.2.003-91. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие требования безопасности
7. ГОСТ 12.2.002-91. Система стандартов безопасности труда. Техника сельскохозяйственная. Методы оценки безопасности
8. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение
9. Санитарные правила по гигиене труда водителей автомобилей: N 4616-88, 5 мая 1988 г
10. ГОСТ 12.0.002-2014. Система стандартов безопасности труда
11. ГОСТ 12.4.011–89. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства защиты работающих
12. СП 76.13330.2016. Электротехнические устройства
13. ГОСТ ИЕС 61140-2012. Защита от поражения электрическим током. Общие положения безопасности установок и оборудования
14. ГОСТ Р 52230-2004. Электрооборудование автотракторное. Общие технические условия
15. ГОСТ Р 22.3.12-2016. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Средства защиты медицинские. Общие технические требования
16. ГОСТ 25646-95. Эксплуатация строительных машин. Общие требования
17. СП 12.13130.2009 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	14
1. ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР	16
1.1 Обзор и классификация методов повышения коэффициента трения шин с дорожным покрытием	17
1.2 Классификация и обзор механических устройств для очистки дорожных покрытий от наледи.....	20
Выводы по главе.....	35
3. РАСЧЕТЫ И АНАЛИТИКА	37
3.1 Конструкторская часть.....	37
3.2 Расчет кинематических и динамических параметров	40
3.2.1 Кинематический расчет	40
3.2.2 Кинематическая связь с динамикой устройства.....	42
3.3 Расчетная схема устройства с учетом привода гидравлического	44
3.3.1 Блок-схема устройства	44
3.3.2 Структурная схема привода гидравлического	47
3.3.3 Расчетная схема устройства.....	47
3.4 Разработка математической модели устройства.....	49
3.4.1 Расчет коэффициентов характеризующих жесткость льда	52
3.4.2 Расчет коэффициентов, характеризующие ТС.....	53
3.4.3 Расчет коэффициентов, характеризующие РВД.....	54
3.5 Математическая модель устройства с приводом	55
3.6 Теоретическое исследование математической модели	58
3.6.1 Исследование коэффициента жесткости РВД.....	58
3.6.2 Исследование влияния расхода гидронасоса на частоту возбуждения вибратора колебаний.....	58
3.6.3 Исследование режимов работы устройства ХХ и под нагрузкой.....	59
3.7 Экспериментальное исследование.....	61
3.7.1 Проведение эксперимента.....	64
3.7.2 Подготовка эксперимента для апробации математической модели.....	65
Выводы по главе	66
4. РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕДЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ	68
4.1 Влияние коэффициента жесткости РВД на перемещение КК.....	68
4.2 Влияние расхода гидронасоса на частоту вибратора колебаний	69
4.3 Характеристика работы устройства при различных режимах.....	70
4.3.1 Характеристика резонансного режима работы устройства на ХХ70	
4.3.2 Характеристика резонансного режима работы устройства под нагрузкой.....	72

4.4	Апробация математической модели.....	75
	Выводы по главе.....	78
5.	ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	80
5.1	Общие сведения о научно-техническом исследовании.....	80
5.2	Предпроектный анализ	80
5.2.1	Потенциальные потребители.	81
5.2.2	Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	82
5.2.3	SWOT-анализ.....	82
5.3	Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	84
5.4	Планирование научно-исследовательских работ.....	85
5.4.1	Структура работ в рамках научного исследования	85
5.4.2	Определение трудоемкости выполнения работ	86
5.4.3	Расчет материальных затрат НТИ	89
5.4.4	Основная заработная плата исполнителей	90
5.4.5	Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	92
5.4.6	Отчисления во внебюджетные фонды	92
5.4.7	Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями	93
5.4.8	Накладные расходы	94
5.4.9	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	94
5.5	Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	95
5.6	Выводы по главе.....	97
6.	СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	98
6.1	Производственная безопасность.....	98
6.1.1	Анализ вредных факторов при эксплуатации объекта исследования.....	98
6.1.2	Анализ выявленных вредных факторов.....	99
6.1.3	Анализ выявленных опасных факторов при эксплуатации устройства.....	105
6.2	Экологическая безопасность.....	107
6.2.1	Анализ воздействия объекта на атмосферу.....	107
6.2.2	Анализ воздействия объекта на литосферу.....	108
6.3	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	108

6.3.1 Анализ возможных ЧС, которые может инициировать объект исследования	108
6.3.2 Анализ наиболее типичной ЧС.....	108
6.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	109
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	111
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	113
СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ.....	119
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	122
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	143
ПРИЛОЖЕНИЕ В.....	146
ПРИЛОЖЕНИЕ Г	147
ПРИЛОЖЕНИЕ Д.....	151
ПРИЛОЖЕНИЕ Е	157

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования.

В Томской области только за один месяц, январь, происходит более 50 ДТП (по данным с 2015 по 2018 год) [1]. Одна из основных причин ДТП в зимний период времени – неудовлетворительное качество дорожного покрытия. При этом значительная часть ДТП происходит из-за низкого коэффициента сцепления дорожного покрытия с колесами автомобилей, то есть из-за скользкости.

В настоящее время известно несколько способов борьбы с зимней скользкостью дорожных покрытий, наиболее распространённые можно разделить на две группы: механический способ очистки дорожных покрытий и способ с использованием ПГМ.

Способ с использованием ПГМ является самым распространённым не только по Томской области, но и по стране в целом. Однако он не экологичен и не эффективен при температуре ниже минус 25 °С.

Механический способ очистки дорожных покрытий от наледи является экологичным и эффективным при температуре ниже минус 25 °С.

В связи с вышеперечисленными факторами, разработка и исследование устройств для очистки дорожных покрытий от наледи является актуальной темой. Исследование динамики направленно на снижение величины динамических воздействий на ТС, осуществляющее механообработку, (вместе с оператором) путем достижения оптимальных параметров работы устройства.

Проблема: недостаточная очистка дорожного покрытия от наледи в зимний период времени при достаточно низких температурах воздуха особенно на крутых спусках.

Объект исследования: устройство для очистки дорожных покрытий от наледи.

Предмет исследования: закономерности процесса работы устройства для очистки дорожных покрытий от наледи.

Цель: исследование динамических процессов в устройстве для очистки дорожных покрытий от наледи.

Задачи исследования:

1. Разработать классификацию механических устройств для очистки дорожных покрытий от наледи.
2. Разработать конструкцию и расчетную схему устройства.
3. Разработать математическую модель устройства.
4. Провести физический эксперимент.
5. Выявить основные закономерности процесса работы устройства.

Научная новизна работы заключается в разработке математической модели устройства.

Научные положения:

1. Дополнена классификация методов повышения коэффициента трения автомобильных колес с дорожным покрытием.
2. Разработана классификация механических устройств для очистки дорожных покрытий от наледи.

Практическая значимость ВКР:

- Разработана конструкция устройства.
- Разработана расчетная схема устройства.
- Разработана имитационная модель устройства.

Реализация и апробация работы. Результаты теоретических и экспериментальных диссертационных исследований реализованы при разработке лабораторного стенда, имитирующий работу устройства для очистки дорожных покрытий от наледи.

Основные результаты исследований докладывались и обсуждались на: XXIX Международной инновационно-ориентированной конференции молодых учёных и студентов «Машиноведение и инновации. Конференция молодых учёных и студентов (МИКМУС)», в Институте машиноведения им. А.А. Благоднарова РАН, г. Москва, 2017 год.

1. ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР

В данном разделе рассмотрены проблемы и способы решения, которые касаются безопасности движения автомобилей и пешеходов в зимний период времени.

Цель данного раздела: провести комплексный анализ технических решений для очистки дорожных покрытий от наледи.

Задачи литературного обзора:

- Поиск источников информации и подготовка материала по теме магистерской диссертации;
- Анализ и классификация подготовленной информации;
- Вывод об актуальности тематики ВКР.

Важную роль на безопасность движения автомобилей и пешеходов в зимний период времени оказывает шероховатость поверхности дорожного покрытия. При образовании обледенения или наледи на дорожном покрытии резко снижается коэффициент трения автомобильных колес (шин) с дорожным покрытием (0,08-0,12). Отрицательная температура дорожного покрытия способствует образованию скользкости.

В результате, условия безопасности движения автомобилей и пешеходов нарушаются. Особенно это актуально для продольных уклонов (более 40-50%) и кривых автомобильных дорог с малым радиусом [2].

Увеличить коэффициент сцепления шин можно с помощью изменения шероховатости дорожного покрытия или изменением параметров шин.

Наиболее рационально изменять шероховатость дорожного покрытия, так как параметры шины заданы, и их затруднительно изменять во время движения автомобиля. Параметр шероховатости дорожного покрытия, как раз наоборот, не постоянная величина, которая в большей степени зависит от климатических условий и от обработки покрытия.

Изучением влияния различных аспектов дорожных покрытий на безопасность движения автомобилей занимались ученые: В.А. Астров, М.В.

Боровой, Л.Б. Гезенцевей, В.Ф. Бабков, М.А. Паршин, А.П. Васильев, Н.В. Горельшев, В.П. Залуга, В.М. Юмашев, М.С. Замахаев, Б.М. Косарев, Н. Кульмурадов, И.А. Орехов, Ю.В. Кузнецов, Е.А. Чудаков, В.В. Сильнов, А.Н. Зеленин, В.И. Баловнев, А.Н. Рудаков, П.А. Поспелов, М.В. Немчинов, В.Б. Уткин, Е.В. Волкова, В.А. Шапкин, А.Р. Пуртов, Ш.М. Мерданов, Г.Г. Воскресенский и другие отечественные исследователи.

Аналогичными вопросами за рубежом занимались В. Янделл, Б. А. Броун, Аллберт, А. Шалламах, Д. Булджин, М.В. Дудкин, С.Н. Фадеев, С.Ю. Пичугин и другие авторы.

1.1 Обзор и классификация методов повышения коэффициента трения шин с дорожным покрытием

Классификация содержит следующие методы:

1) Фрикционный метод. Нанесение абразивных или фрикционных материалов на поверхность дорожных покрытий, широко распространен в Швеции, Финляндии и России по причине низкой стоимости материалов. Основной материал – песок или каменная крошка. Чаще всего применяются следующие фрикционные материалы: мраморная крошка, гранит, отсев горных пород и др. Достоинством метода является возможность применения его на пешеходных тротуарах, пешеходных зонах, городских парках, а также на опасных участках автомобильных дорог, где нет возможности применять другие методы. Метод может применяться при температурах ниже минус 20 градусов по Цельсию [3-5].

Недостатки: эффект фрикционного метода сохраняется недолго, особенно на крутых спусках или подъемах; большой расход материалов на опасных участках автомобильных дорог; загрязнение атмосферы (выбросы пыли в окружающую среду при использовании песка).

Главный недостаток метода заключается в том, что фрикционный материал недостаточно закрепляется на дорожном покрытии. Незначительное увеличение коэффициента сцепления шин с дорожным покрытием вследствие

значительного увеличения расхода песка [3].

2) Механический метод. Очистка дорожного покрытия путем разрыхления, разрушения и отделения наледи. Удаление наледи производится скалывающим или режущим инструментом, автоматически или вручную. Данный метод может обеспечить шероховатость наледи, обеспечивающую безопасное движение автомобилей и пешеходов. Главным достоинством метода является то, что он является полностью экологичным и не приносит вред окружающей среде. Еще одним достоинством метода является надежность применения при температуре ниже минус 20 градусов по Цельсию. Недостаток метода заключается в разрушении верхнего слоя дорожного покрытия, так как сложно контролировать толщину скалываемого или срезаемого слоя наледи [3-4].

3) Химический метод. Недопущение возникновения зимней скользкости благодаря применению специальных химических составов (реагентов). Метод основан на действии специальных реагентов, которые распределяются по покрытию и вступают в химическую реакцию с наледью, после чего образуется соляной раствор, который имеет температуру замерзания ниже воды. Химический метод не эффективен при низких температурах, так как соляной раствор замерзает. Метод является самым распространённым на сегодняшний день в ряде стран: США, России и Канаде. Реагенты применяются как жидкие, так и твердые. Жидкие реагенты начинают действовать сразу, практически после распределения, твердые реагенты могут вплаиваться в массивное покрытие наледи, далее растворяясь, они образуют тонкую пленку, благодаря чему разрывается связь между наледью и дорожным покрытием. На практике используют комбинированные реагенты, которые имеют расширенные возможности (время и температура) [3].

4) Тепловой метод. В зависимости от типа обогрева поверхности дорожного покрытия, бывает: кондуктивный и конвективный. Кондуктивное подогревание происходит снизу дорожного покрытия. Конвективное подогревание заключается в плавлении наледи на поверхности дорожного

покрытия. Метод теплового воздействия (конвективный) реализуется на практике с помощью тепловых и ветровых машин, которые используют газоструйный способ очистки от наледи. Благодаря работе авиационного двигателя, который установлен на машине, формируется воздушный высокотемпературный поток направленного действия, в результате чего наледь разрушается. Применение таких машин для очистки дорожных покрытий от наледи на автомобильных дорогах общего пользования невозможно [3, 5].

Недостатки: очень высокая стоимость, относительно небольшая производительность, вредное воздействие высоких температур на дорожное покрытие.

5) Метод инфракрасной обработки. Основан на способности наледи пропускать инфракрасные волны, которые нагревают поверхность дорожного покрытия, разрушая связь между наледью и поверхностью. В дальнейшем наледь удаляется механическим методом. Недостаток метода заключается в том, что данный метод очень неэффективен, когда наледь непрозрачная. Метод не получил широкого распространения на автомобильных дорогах, так как очень энергозатратный. Применяется он в основном на воздушных судах для борьбы с наледью, образующейся на фюзеляже и крыльях [3].

6) Метод излучение микроволнами. Имеет схожий принцип работы с предыдущим методом (инфракрасной обработки). Главный недостаток метода состоит в том, что микроволны разрушают связи асфальтобетонных покрытий, что в дальнейшем приводит к их разрушениям. Поэтому метод не нашел применения на автомобильных и пешеходных дорогах. Однако работы по изучению микроволн для очистки от наледи ведутся [3].

7) Комбинированный метод. Результат применения несколько описанных выше методов в одном. Например, самым распространенным является химико-фрикционный - метод смешивания фрикционных материалов с химическими противогололёдными материалами (реагентами). Тепло-механический – метод подогрева наледи с последующим механическим удалением [3-5].

Результат дополненной классификации выше описанных методов представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Классификация методов очистки дорожных покрытий от наледи

Самый рациональный, но сложно достижимый метод для обеспечения безопасности против образования зимней скользкости является полная очистка дорожного покрытия от наледи [2].

Эффективным, менее энергозатратным, экологичным, относительно надежным при низких температурах, экономически рациональным является механический метод. Данный метод привлекает наибольшее количество ученых и исследователей своим разнообразием технических решений.

1.2 Классификация и обзор механических устройств для очистки дорожных покрытий от наледи

Анализ технических решений рабочих органов, которые применяются на машинах и устройствах для очистки дорожных покрытий от наледи показал, что существуют пять основных видов различных конструкций устройств:

1) Статического действия. Разрушения наледи происходит при постоянной нагрузке на режущем инструменте РО, который воздействует на поверхность наледи дорожного покрытия, либо разрушение происходит в результате повышения медленным темпом однократной нагрузки на режущий инструмент РО [6-13].

По типу конструкции устройства статического действия бывают: вращательные и прямолинейные.

Вращательным называют устройство, которое при движении ТС совершает вращательное движение (перекатывается) по дорожному покрытию. Внедрение в наледь острых концов зубьев происходит под действием силы тяжести РО либо догрузателя. Режущим инструментом такой группы устройств является каток с металлическими ребрами, имеющий сменные режущие зубья [6].

Прямолинейным называют устройство, которое при движении ТС совершается прямолинейное толкающее действие в наледь дорожного покрытия. Внедрение ножа происходит в наледь под действием силы тяжести РО. После внедрения ножа происходит перемещение наледи (происходит набор призмы волочения). Режущим инструментом данной группы устройств является нож бульдозеров, автогрейдеров и уборочных машин [7-14].

Наиболее интересным техническим решением является устройство, которое содержит каток, присоединяемый к ТС со съёмными режущими зубьями, закрепленными на его образующей (рис. 2).

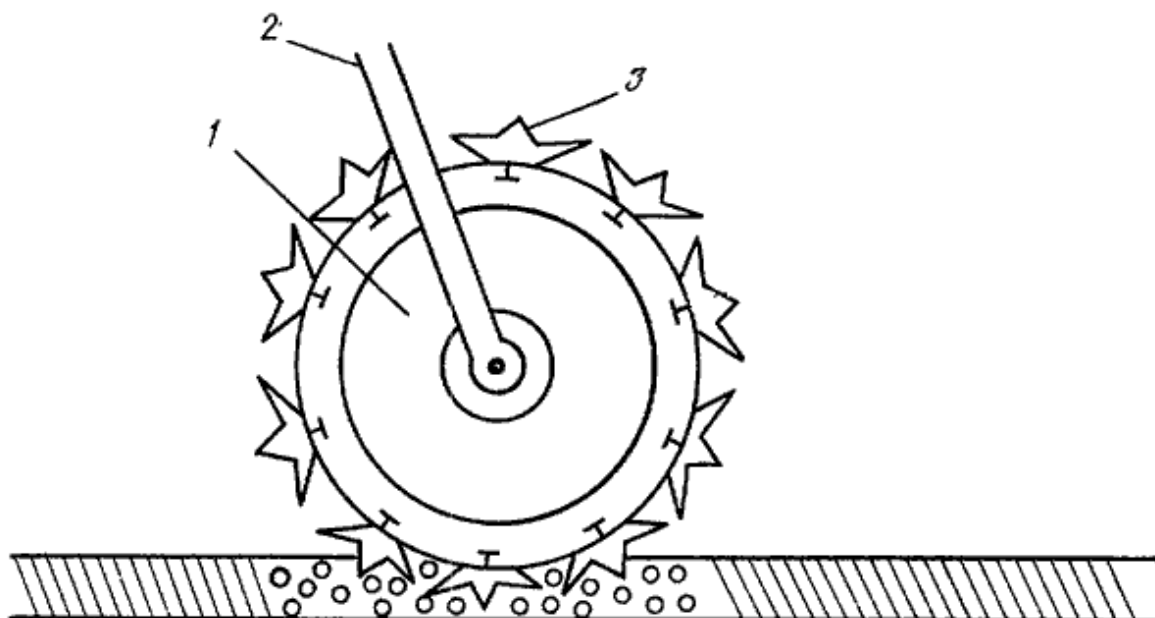


Рисунок 2 – Вращательное устройство статического действия для очистки дорожных покрытий от наледи

Работа устройства (рис. 2) осуществляется следующим образом. При движении ТС каток 1 перекачивается по покрытию. В момент входа зубьев 3 в контакт с покрытием элементы разжимаются в стороны под действием силы тяжести катка 1, а также догрузателя. Разжатие приводит к внедрению в наледь острых концов зубьев 3, разрушению наледи и сдвигу скола. При выходе из контакта с покрытием зубья 3 за счет упругости элементов 4 и 5 приходят в первоначальное состояние. В случае выполнения катка 1 многогранным к усилию от сил тяжести добавляется усилие от запаса кинетической энергии, что повышает эффективность скалывания наледи.

Достоинства данного устройства:

- Универсальность применения шасси автомобилей к данному устройству;
- Малые габариты устройства (не превышающие 2 метра в длину);
- Возможность использования на тротуарных дорожках из-за малых габаритов;
- Простота и дешевизна конструкции.

Недостатки данного устройства:

- Низкая эффективность удаления наледи;
- Низкая скалывающая способность устройства;
- Недостаточное давление на наледь, для ее полного скалывания и микрорезания поверхности обработки;
- Недостаточное качество очищаемой поверхности;
- Недостаточная шероховатость покрытия после обработки;
- Большое количество неочищенных участков;
- Невозможно работать на площадях покрытых глубоким слоем наледи;
- Невозможно осуществлять регулировку глубины скалывания;
- Повреждение дорожных покрытий.

2) Фрезерующие. Устройства, которые обрабатывают наледь

дорожного покрытия фрезами, шнеками или щетками. Режущий инструмент (фреза, шнек или щетка) всегда совершает вращательное движение. Как правило, поступательное движение совершает транспортное средство (ТС) в направлении перпендикулярном оси вращения инструмента (фрезы, шнека или щетки) [14-28].

Фрезерующие устройства можно разделить на два типа: с возможностью изменения и без возможности изменения глубины обрабатываемой наледя.

Фрезерующие устройства, которые обеспечивают изменение глубины обрабатываемой наледя, снабжены регулировочным механизмом [14, 15, 17, 19]. Регулировочный механизм позволяет изменять обрабатываемую глубину наледя, которая может изменяться на определённую величину относительно ТС. Фрезерующие устройства, которые не имеют возможности изменять глубину обрабатываемой наледя, как правило, закреплены жестко к ТС, вследствие чего глубина зависит напрямую от рельефа дорожного покрытия и не может изменяться относительно ТС [16, 21].

По способу предохранения от повреждения дорожного покрытия фрезерующие устройства бывают двух видов: имеющие предохранительный механизм и не имеющие.

Фрезерующие устройства с предохранительным механизмом от повреждения асфальтобетонного покрытия имеют копирующий механизм, который отслеживает рельеф и неровности дорожного покрытия, он напрямую связан с механизмом регулировки толщины обрабатываемой наледя. Устройства с копирующим механизмом применяются на практике довольно редко, однако данный механизм позволяет производить обработку наледя, предохраняя при этом дорожное покрытие [14, 17].

По расположению приводных валов можно выделить три основные группы фрезерующих устройств: горизонтальные, наклонные и вертикальные.

Горизонтальные фрезерующие устройства – это устройства, у которых ось вращения режущего инструмента параллельна поверхности дорожного покрытия [14-21]. Режущий инструмент РО такой группы: дисковые фрезы

оснащенные зубьями или режущими пластинами; дисковые щетки усиленные ворсом; шнеки; иногда встречаются цилиндрические фрезы.

Наклонные фрезерующие устройства – это устройства, у которых ось вращения режущего инструмента расположена под углом к поверхности дорожного покрытия [22-26]. Режущий инструмент РО такой группы: режущие диски, дисковые фрезы оснащенные зубьями.

Вертикальные фрезерующие устройства – это устройства, у которых ось вращения инструмента расположена перпендикулярно к поверхности дорожного покрытия [27-28]. Режущий инструмент РО такой группы: торцевые, концевые, дисковые фрезы оснащенные зубьями, торцевые щетки усиленные ворсом.

Наиболее интересным техническим решением различных групп фрезерующих устройств является устройство (рис. 3), которое содержит базовое шасси с рамой, на который закреплен РО, состоящий из установленных на горизонтальном валу приводных дисков с жестко закрепленными на них режущими пластинами. Устройство снабжено копировальным механизмом, установленным посредством стоек на раме за РО с возможностью перемещения в вертикальном направлении посредством гидроцилиндра, и двухотвальными плужками [14].

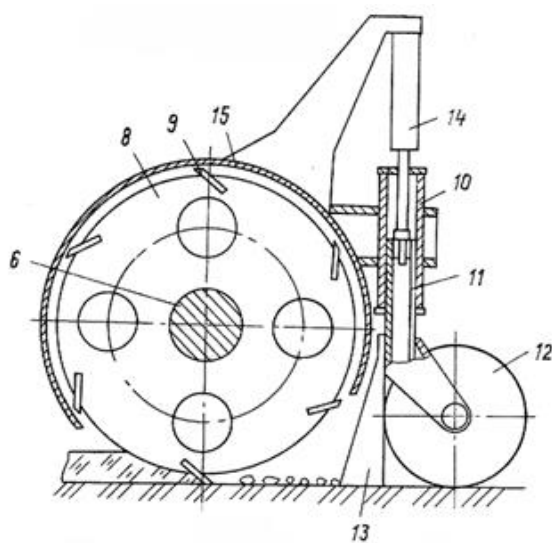


Рисунок 3 – Горизонтальное устройство для очистки дорожных покрытий от наледи

Устройство (рис. 3) работает следующим образом. Вначале базовое шасси устанавливается на участок дорожного покрытия, который необходимо очистить от наледи. Включается привод вращения, который вращает вал 6 с дисками 8, и при помощи гидроцилиндров рама опускается до соприкосновения режущих пластинок 9 с наледью. Режущие пластины 9 режут наледь и под действием собственного веса РО углубляются в наледь до соприкосновения с дорожным покрытием, а базовое шасси 1 на небольшой скорости движется вперед. Одновременно при помощи гидроцилиндров 14 опускаются вниз стойки 11 с копирующим механизмом 12 и очищающими плужками 13. Очищающие плужки 13 сдвигают сколотую наледь, а копирующие ролики 12 передвигаются по очищенной поверхности. При некотором притуплении режущих пластин 9 ход штоков гидроцилиндров 14 можно регулировать, опустив устройство на чистую горизонтальную плоскость. Во избежание попадания осколков наледи на людей предусмотрен в устройстве предохранительный кожух 15.

Достоинства данного устройства:

- Универсальность применения шасси автомобилей к устройству;
- Наличие предохранительного механизма от повреждения асфальта;
- Достаточная производительность процесса скалывания;
- Эффективность выше, чем у статического устройства;
- Возможность регулирования глубины скалывания;
- Рациональная компоновка устройства

Недостатки данного устройства:

- Сложность изготовления конструкции;
- Большие габариты устройства;
- Большая энергоёмкость удаления наледи;
- Недостаточное качество очищаемой поверхности;
- Наличие неочищенных участков;
- Возможны аварийные ситуации во время работы устройства;

- Невозможно использовать на тротуарных дорожках из-за больших габаритов

3) Ударного действия. Разрушение наледи происходит путем удара инструментом о поверхность наледи на дорожном покрытии. По типу кинематики РО бывают: с поступательным и с роторным движением [29-35].

Устройство поступательного ударного действия для очистки дорожных покрытий от наледи можно разделить на две группы по расположению оси ударного инструмента: прямые и наклонные. Прямые, когда ось инструмента перпендикулярна поверхности дорожного покрытия. Наклонные, когда ось инструмента расположена под углом к поверхности дорожного покрытия.

Прямые устройства поступательного ударного действия имеют ударный инструмент: сменные режущие наконечники, клиновидные ножи [29].

Наклонные устройства поступательного ударного действия имеют ударный инструмент: скребки, отбойные молотки [30-32].

Роторное устройство ударного действия для очистки дорожных покрытий от наледи имеет ударный инструмент: ударники, цепи [33-35].

Наиболее интересным техническим решением устройств ударного действия является устройство [34], которое содержит колесный тягач, РО с роторными ударниками, установленный на раме, шарнирно прикрепленной к тягачу и имеющей опорные колеса (рис. 4).

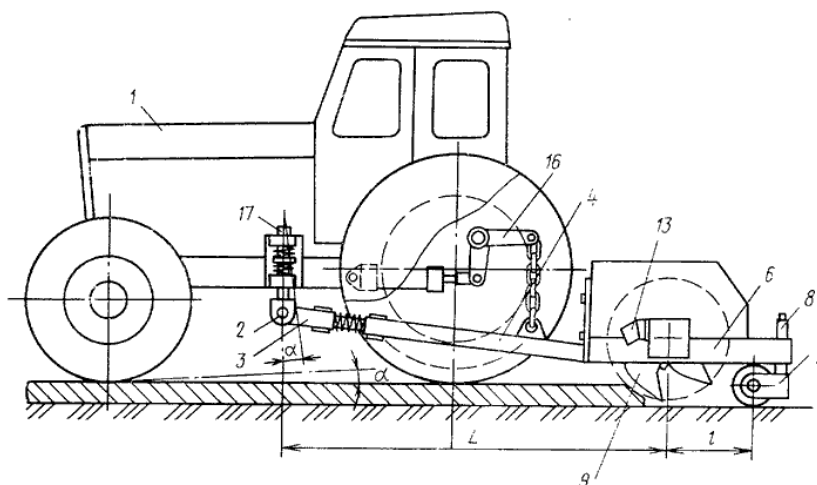


Рисунок 4 - Роторное устройство ударного действия для очистки дорожных покрытий от наледи

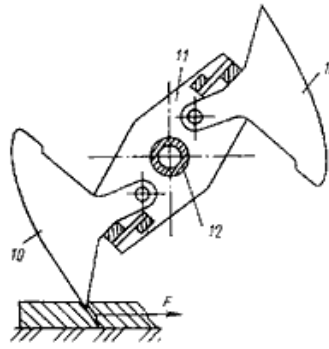


Рисунок 5 – Рабочий орган роторного устройства ударного действия для очистки дорожных покрытий от наледи

Устройство (рис. 4-5) работает следующим образом. После установки роторного устройства ударного действия на массиве наледи и регулировки гарантированного зазора между лезвиями ударников 10 и поверхностью дороги, осуществляемой с помощью винтов 8 опорных колес 7, включают привод РО 9 и ход ТС по направлению, указанному стрелкой (рис. 5). Вращающиеся ударники 10 под действием центробежных сил занимают крайние положения относительно приводного вала 12, и в этом положении внедряются в наледь. В момент удара о наледь ударник 10 передает ему импульс ударной силы. При этом часть энергии, в виде реактивной составляющей, передается раме 6 РО 9, которая перемещается по ходу движения и сжимает пружину. При наезде заднего колеса ТС 1 на неровность ось шарнира 2 перемещается на угол α , равный углу подъема заднего колеса ТС 1 относительно переднего. Учитывая, что шарнир 2 тяговой рамки 3 равноудален от колесных осей шасси, подъем шарнира 2 пропорционально меньше, чем высота подъема заднего колеса. Этому же способствует отношение расстояния L к расстоянию l равное 5...6. Пружина 17 сглаживает колебания, передаваемые рабочим органом 9 на ТС 1.

Достоинства данного устройства:

- Универсальность применения шасси автомобилей к данному устройству;
- Наличие предохранительного механизма от повреждения асфальта;
- Достаточная производительность процесса скалывания;?

- Эффективность выше, чем у статических и фрезерующих устройств;
- Возможность регулирования глубины скалывания;
- Возможность работы устройства на площадях покрытых глубоким слоем наледи;

Недостатки данного устройства:

- Средняя энергоёмкость удаления наледи;
- Недостаточное качество очищаемой поверхности;
- Наличие неочищенных участков;
- Невозможно использовать на тротуарных дорожках из-за больших габаритов.

4) Вибрационные. Вибрационное устройство создаёт инерционные силы, возбуждающие колебательное движение режущего инструмент РО, вследствие чего наледь испытывает воздействие периодического характера изгибающих моментов. При колебании режущего инструмента РО его кинетическая энергия передается на поверхность для разрушения наледи [36-39]. Отличительной чертой вибрационных устройств по сравнению с устройствами ударного действия является то, что толщина обрабатываемой наледи регулируется амплитудой колебания вибратора, а частота вибрационной обработки зависит от частоты возбуждения вибратора.

По направлению колебания режущих инструментов можно выделить три группы вибрационных устройств: горизонтальные, наклонные и вертикальные.

Горизонтальные вибрационные устройства – это устройства, у которых направление колебаний режущего инструмента параллельна поверхности дорожного покрытия [36]. Режущий инструмент РО такой группы: зачистные ножи и скребки.

Наклонные вибрационные устройства – это устройства, у которых ось направления колебаний режущего инструмента расположена под углом к поверхности дорожного покрытия [37]. Режущий инструмент РО такой группы: вертикальные ножи.

Вертикальные вибрационные устройства – это устройства, у которых ось направления колебаний режущего инструмента расположена перпендикулярно к поверхности дорожного покрытия [38-39]. Режущий инструмент РО такой группы: клиновидные ножи, волноводы, скребки.

Наиболее интересным техническим решением устройств вибрационного действия является устройство [36], которое содержит базовое шасси с навеской, упругие балки в виде полосовых рессор и рабочий инструмент (рис. 6).

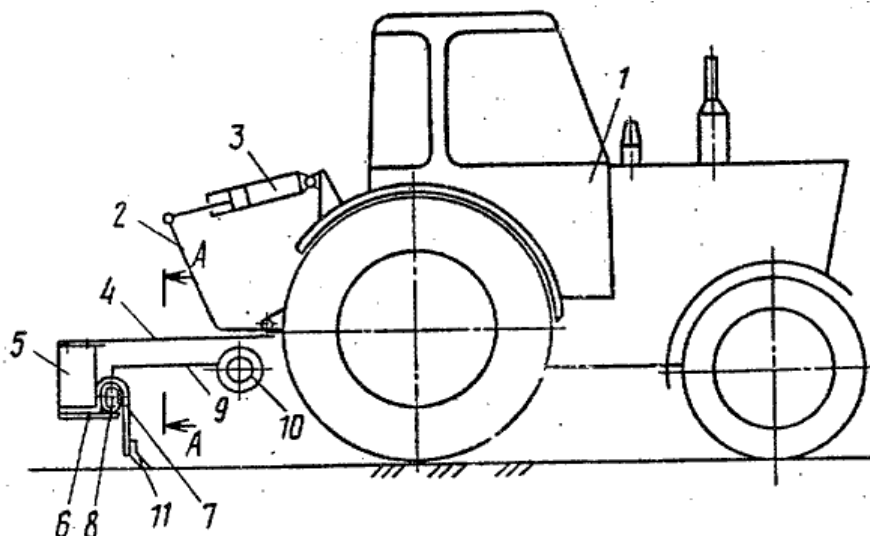


Рисунок 6 – Вибрационное устройство для очистки дорожных покрытий от наледи

Устройство (рис. 6) работает следующим образом. В транспортном положении рамы 2 рабочего оборудования включается гидропульсатор 10 и рабочая жидкость по трубопроводу 9 поступает внутрь упругой оболочки 8, которая под действием давления рабочей жидкости увеличивается в поперечном сечении и воздействует на упругий рабочий инструмент 7, смещая его вместе с зачистным ножом 11 вперед (рис. 7). В следующий полупериод колебаний давление в гидропульсаторе 10 падает, и упругая оболочка 8 сжимается под действием сил сжатия инструмента 7. Таким образом, зачистной нож 11 приходит в колебательное движение. Затем включается рабочая передача, и базовое шасси 1 движется поступательно.

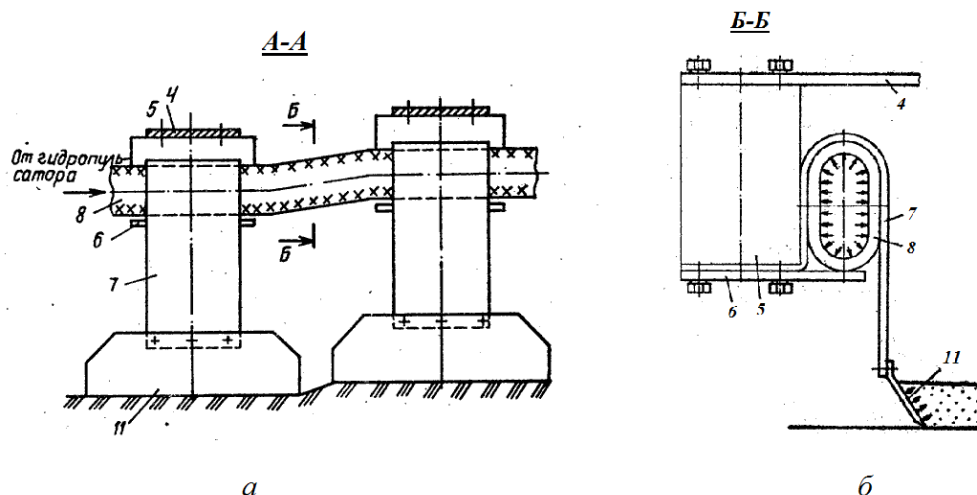


Рисунок 7 – Рабочий орган вибрационного устройства для очистки дорожных покрытий от наледи в разрезе: а – разрез А-А; б – разрез Б-Б

Гидроцилиндром 3 рама 2 рабочего оборудования вместе с упругими балками 4 опускается до соприкосновения с очищаемой поверхностью дорожного покрытия (рис. б). В результате достигается эффект вибрирования слоев наледи, обеспечивающий снижение сил резания по сравнению со статическими силами резания устройства.

Достоинства данного устройства:

- Универсальность применения шасси автомобилей к данному устройству;
- Малые габариты устройства;
- Минимальные энергозатраты;
- Простота конструкции;
- Малая громоздкость устройства;
- Возможность регулирования глубины скалывания;
- Возможность использования на тротуарных дорожках;
- Возможность работы устройства на площадях покрытых глубоким слоем наледи;

Недостатки данного устройства:

- Наличие неочищенных участков;
- Недостаточная шероховатость дорожного покрытия;

- Низкая скалывающая способность
- Отсутствие предохранительного механизма от повреждения асфальта;

- Низкая производительность.

5) Комбинированные устройства. Устройства, которые используют преимущества различных видов известных технических решений с объединением их в одно комбинированное устройство [40-42].

Комбинированные устройства можно разделить на три группы по принципу действия: статического и фрезерующего; ударного и вибрационного; фрезерующего и вибрационного действия.

К комбинированным устройствам статического и фрезерующего действия относят устройства, которые оказывают статическую нагрузку на РО и обрабатывают наледь фрезерованием [40]. Статическую нагрузку реализуют на практике с помощью применения в устройстве балластного груза, который имеет возможность регулировки. Изменение положения балластного груза в устройстве приводит к регулированию удельного давления РО на покрытие. Рабочим инструментом данной группы являются катки.

К комбинированным устройствам ударного и вибрационного действия относят устройства, которые производят обработку наледи методом ударного действия инструмента о поверхность покрытия. Формирование ударных сил происходит от вибрационного вибратора колебаний [41]. Таким образом, ударный инструмент совершает всегда сложное движение вращательное и поступательное. Рабочим инструментом данной группы являются ударники.

К комбинированным устройствам фрезерующего и вибрационного действия относят устройства, которые обрабатывают наледь вращающимися режущими инструментами (фрезами). При этом вибратор сообщает колебательные движения режущему инструменту [42]. Таким образом, происходит формирование напряжений сдвига в зоне контакта. Рабочими инструментами данной группы являются резцы, скребки и ножи.

Наиболее интересным техническим решением комбинированных

устройство является устройство [42], которое изображено на рисунке 8.

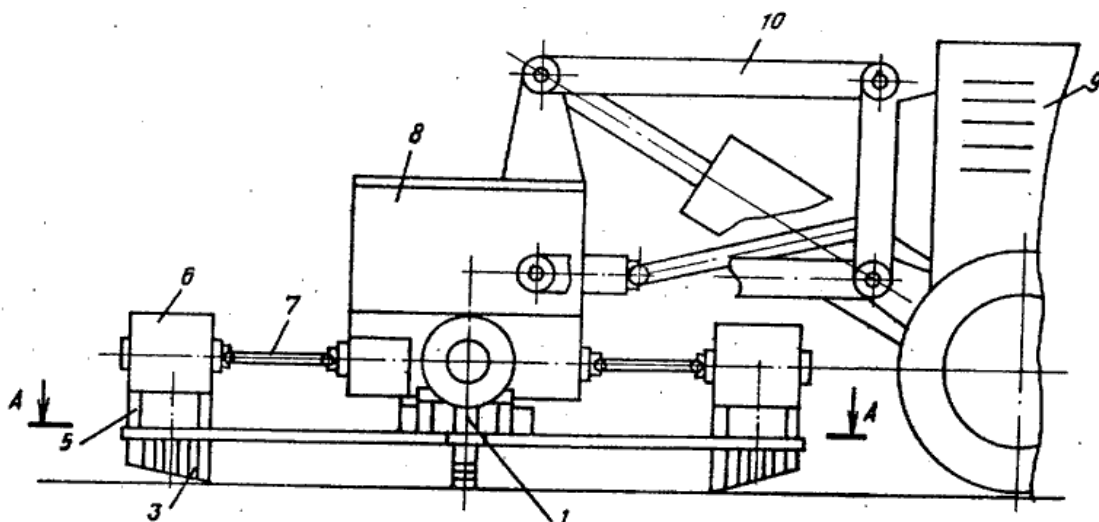


Рисунок 8 – Комбинированное устройство фрезерующего и вибрационного действия для очистки дорожных покрытий от наледи

Устройство (рис. 8) работает следующим образом. При движении ТС 9 по поверхности наледи включается механизм 10, который переводит РО из транспортного положения в рабочее. При включении редуктора 8 происходит вращение вертикального вала 1 с крестовиной 2 (рис. 9).

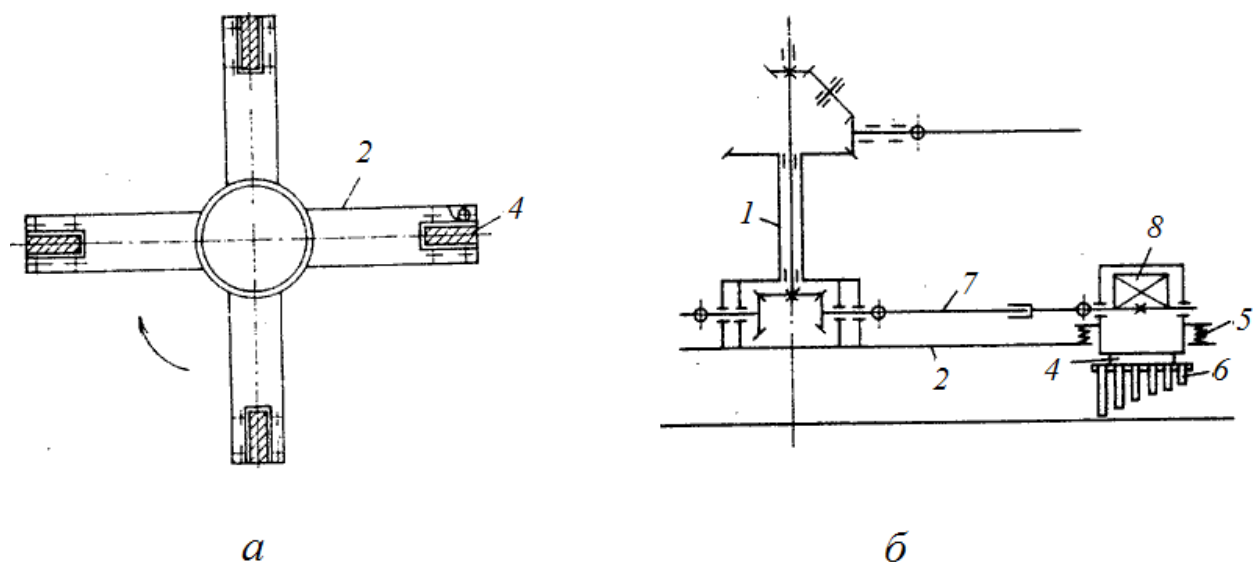


Рисунок 9 – Комбинированное устройство фрезерующего и вибрационного действия для очистки дорожных покрытий от наледи: а – разрез А-А рабочего органа; б – кинематическая схема рабочего органа

При этом вибраторы 6 сообщают колебательные движения блокам 4 с

инструментами 3, которые производят резание и скалывание наледи (рис. 8-9). Обработка поверхности происходит при одновременном движении ТС 9 и вращении крестовины 2 с инструментами 3. Благодаря установке инструментов 3 с увеличением их длины вылета к центру вращения, разрушение наледи производится на более значительную толщину, что повышает производительность РО.

Достоинства данного устройства:

- Универсальность применения шасси автомобилей к данному устройству;
- Высокая производительность и шероховатость;
- Возможность регулирования глубины скалывания;
- Возможность работы устройства на площадях покрытых глубоким слоем наледи;
- Эффективность устройства;

Недостатки устройства:

- Недостаточное качество очищаемой поверхности;
- Наличие неочищенных участков;
- Отсутствие предохранительного механизма от повреждения асфальта;
- Сложность изготовления конструкции;
- Большая энергоёмкость удаления наледи;
- Возможны аварийные ситуации во время работы устройства;
- Невозможно использовать на тротуарных дорожках.

Классификация механических устройств для очистки дорожных покрытий от наледи представлен в графическом виде на рисунке 10.



Рисунок 10 – Классификация механических устройств для очистки дорожных покрытий от наледи

Выводы по главе

В процессе обзора механических устройств для очистки дорожных покрытий от наледи, рассмотрены и изучены различные технические решения, на которых будет основываться новая разработка автора, приведены их достоинства и недостатки.

Проведенный анализ механических устройств показал, что статическая группа устройств для очистки дорожных покрытий от наледи является самой энергозатратной. Низкой энергозатратностью обладает вибрационная группа устройств для очистки дорожных покрытий от наледи.

Наиболее эффективными при скалывании наледи с дорожного покрытия являются комбинированные ударно-вибрационные устройства.

Хорошей производительностью обладают фрезерующие, комбинированные и устройства ударного действия.

На основе анализа механических устройств для очистки дорожных покрытий от наледи, автором разработана их классификация.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что перспективными для дальнейшего изучения являются комбинированные ударно-вибрационные устройства, так как они обладают малой энергозатратностью и хорошей эффективностью процесса скалывания наледи с дорожного покрытия.

2. ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объект: устройство для очистки дорожных покрытий от наледи.

Изобретение относится к коммунальному машиностроению для очистки дорожных покрытий от наледи.

Для реализации поставленных задач применялись следующие методы: комплексный метод, включающий аналитический обзор устройств; экспериментальные исследования в лабораторных условиях процесса скалывания наледи; теоретические разработки с использованием методов механики; математическое моделирование динамических процессов работы устройства с целью установления оптимальных режимов работы устройства.

Рассмотрение патентных изобретений показало, что устройство с вибрационной скалывающей нагрузкой является современной разработкой.

Обосновывается это низкой энергозатратностью, а также возможностью регулировать глубину скалывания за счёт изменения амплитуды. Учитывая недостатки существующих технических решений необходимо разработать принципиально новое устройство для очистки дорожных покрытий от наледи, путём конструкторской доработки, повысить качество и производительность очистки. Исследовать возможности регулирования амплитуды перемещения скалывающего инструмента нового устройства за счет подбора резонансного режима. Всё вышесказанное указывает на актуальность данного исследования.

Предложено комбинированное устройство с добавлением гидравлического вибратора на упругих оболочках между неподвижной и подвижной рамами скалывающего инструмента.

Граничные условия объекта исследования:

- Толщина дорожной наледи от 0 до 200 мм;
- Максимальная частота вращения генератора колебания до 4000 об/мин;

3. РАСЧЕТЫ И АНАЛИТИКА

3.1 Конструкторская часть

Автором разработана конструкция устройства для очистки дорожных покрытий от наледи (рис. 11). Устройство предназначено для обеспечения безопасного движения автотранспортных средств и пешеходов за счет увеличения коэффициента сцепления шин с дорожным покрытием, т.е. с помощью изменения шероховатости дорожного покрытия посредством механической очистки.

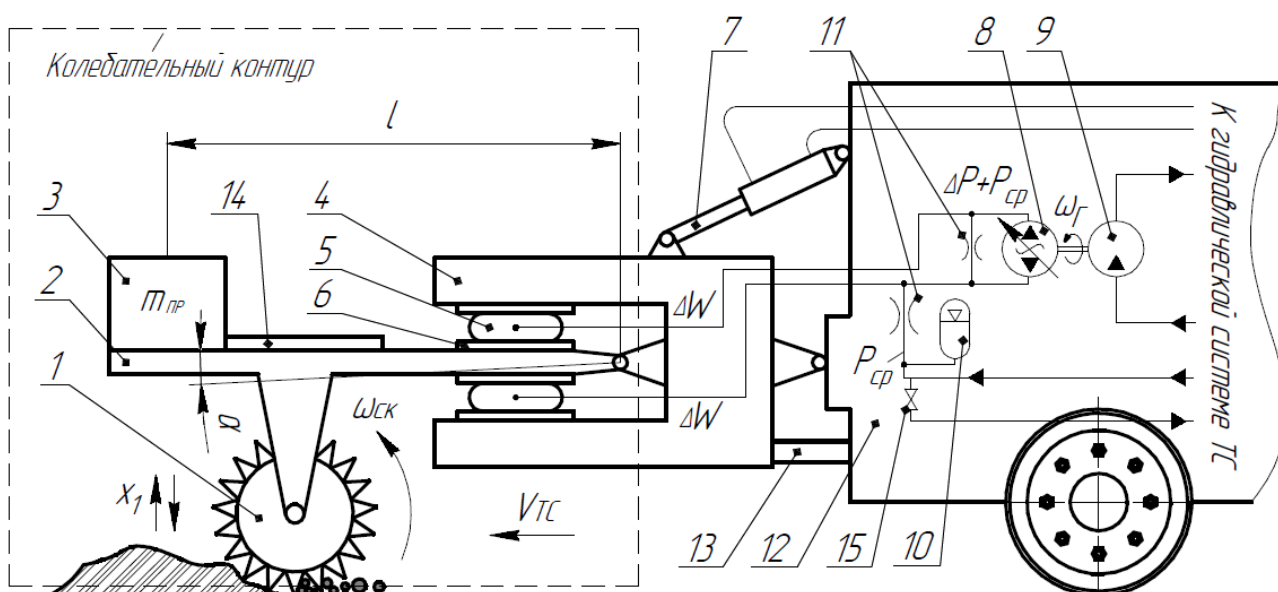


Рисунок 11 – Принципиальная схема устройства для очистки дорожных покрытий от наледи

Устройство (рис. 11) имеет основную раму 4, шарнирно присоединенную к ТС 12, содержит фиксатор 13. К основной раме 4 посредством шарнира присоединена балка 2, на которой установлен механизм регулирования 14 длины плеча груза 3. Балка 2 соединена со скалывающим колесом 1 с помощью подшипников скольжения. Скалывающее колесо 1, подвижная балка 2 с грузом 3 и механизмом регулирования 14 составляют колебательный контур (КК), который шарнирно связан с основной рамой 4 [43].

Скалывающее колесо 1 представляет собой диск, имеющий по внешней окружности зубья. Между основной рамой 4 и балкой 2 установлены прокладки 6 и РВД 5.

Устройство приводится в действие от гидравлической системы ТС при помощи дополнительных встроенных гидравлических агрегатов: гидронасоса, гидромотора 9, запитанных от гидравлической системы ТС; регулируемого генератора колебаний 8, связанного гидравлической линией с РВД 5. Упругие оболочки 5 (РВД) между неподвижной основной рамой устройства 4 и подвижной балкой 2 образуют гидравлический вибратор (далее вибратор).

Для поддержания среднего давления P_{cp} в гидравлической системе применяется гидроаккумулятор 10 и жиклёры 11. По окончании работы открытием крана 15 осуществляется слив гидравлического масла в гидравлическую систему ТС.

Для предотвращения от несчастных случаев в гидравлической системе устройства установлены предохранительные клапаны (на схеме не показаны).

Кинематическая и гидравлическая схема устройства для очистки дорожных покрытий от наледи приведена на рисунке 12.

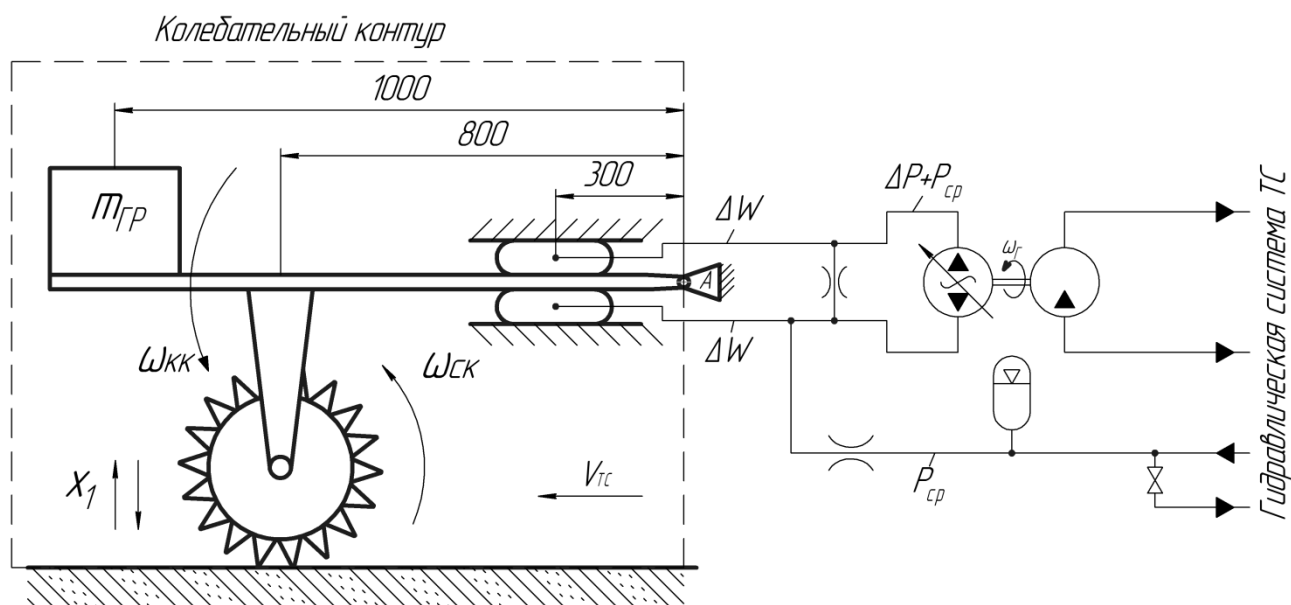


Рисунок 12 – Комбинированная схема (кинематическая и гидравлическая) устройства для очистки дорожных покрытий от наледи

Работает устройство (рис. 11) следующим образом. ТС с устройством устанавливаются на заснеженный или обледеневший участок дорожного покрытия. Оператор с помощью гидроцилиндра 7 опускает раму 4 до соприкосновения скалывающего колеса 1 с наледью. После установки устройства на дорожное покрытие оператор включает фиксатор 13, тем самым основная рама 4 становится жестко закрепленной к ТС 12. Гидромотор 9 вращает регулируемый генератор колебаний 8 (рис. 13), который создает пульсирующий объем рабочей жидкости $\Delta W(t) = \Delta W_A \sin(\omega t)$ по закону близкому к гармоническому (W_A - амплитудное значение пульсирующего объема).

Пульсирующий объем рабочей жидкости $\Delta W(t)$, поступая в РВД 5, предварительно сформированные в радиальном направлении (вибратор), формирует силу F_v и соответствующее виброперемещение подвижной балки 2 и скалывающего колеса 1. Оператор приводит в движение ТС, которое движется с определённой скоростью $V_{ТС}$. В результате вибрационного воздействия скалывающего колеса 1 происходит разрушение наледи с дорожного покрытия [43].

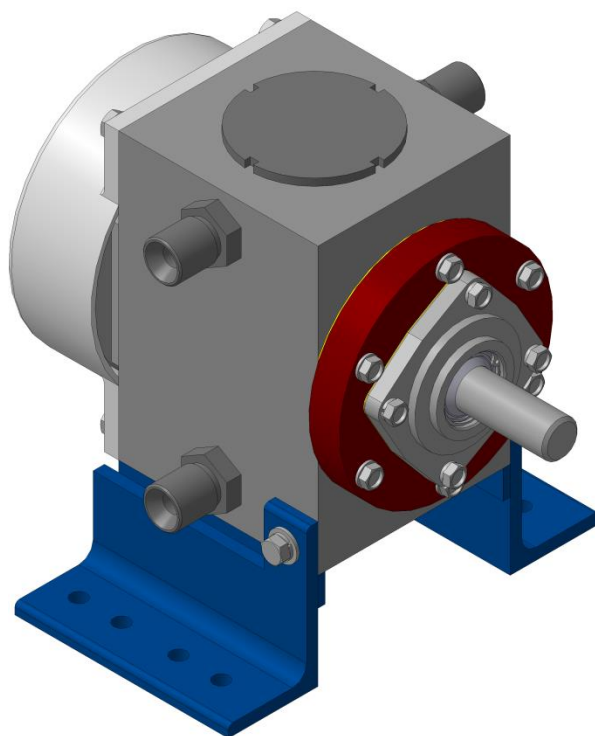


Рисунок 13 – Регулируемый генератор колебаний

Толщина (амплитуда колебаний КК) разрушения наледи регулируется кинетической энергией вибрации КК устройства. Регулировка амплитуды КК может осуществляться изменением частоты возбуждения генератора ω_G , которая при совпадении с резонансной частотой Ω КК будет максимальной (формула 1).

Следует отметить, что устройство позволяет регулировать кинетическую энергию для разрушения наледи в зависимости от толщины скалываемого слоя, посредством изменения следующих параметров: длины плеча l подвижного груза, а также величиной пульсирующего объема ΔW_A , который непосредственно влияет на значение пульсирующего давления.

Разработан при поддержке предприятия ООО «Корпорация Западная Сибирь» (г. Томск) испытательный образец (рис. 14). Предварительные испытания на работоспособность устройства, проведенные на предприятии, показали хорошие результаты.

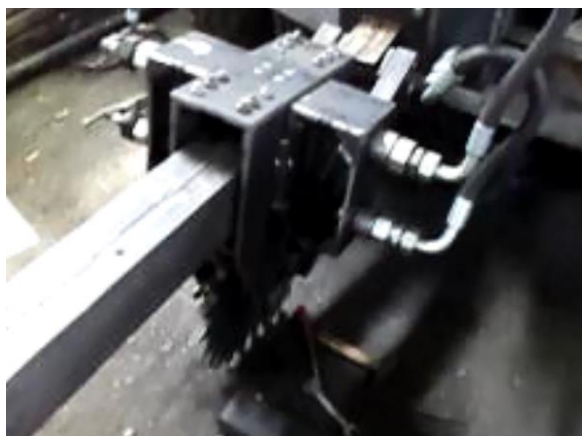


Рисунок 14 – Опытный образец устройства для очистки дорожных покрытий от наледи

3.2 Расчет кинематических и динамических параметров

3.2.1 Кинематический расчет

Главным (основным) движением устройства (рис. 12) является вращательное движение КК относительно шарнира (точка А изображенная на рисунке 12), т.е. движение по окружности КК с угловой скоростью $\omega_{КК}$.

Скалывающее колесо в результате движения ТС с определённой скоростью $V_{ТС}$ благодаря силам трения между скалывающим колесом и поверхностью дорожного покрытия приобретает вращательное движение (угловая скорость $\omega_{СК}$) относительно своей неподвижной оси вращения.

Скалывающее колесо в процессе работы осуществляет сложное движение, а именно возвратно-поступательное относительно дорожного покрытия и вращательное относительно своей неподвижной оси.

Кинематический расчет движения скалывающего колеса. Расчетная схема вращательного движения скалывающего колеса показана на рисунке 15.

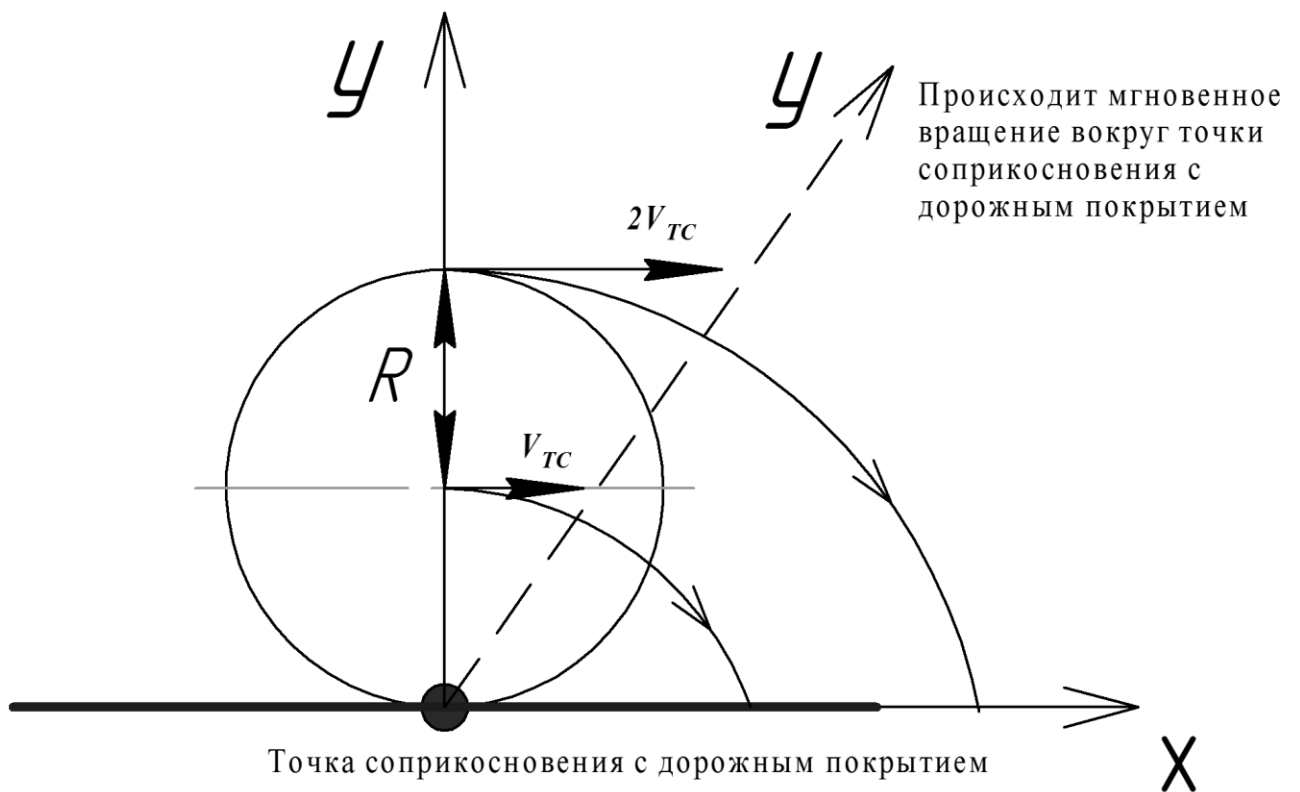


Рисунок 15 – Кинематическая расчетная схема скалывающего колеса

Угловая скорость скалывающего колеса ($\omega_{СК}$) определяется по формуле:

$$\omega_{СК} = \frac{V_{ТС}}{R}; \quad (1)$$

$$\omega_{СК} = \frac{18 \cdot \frac{1000}{3600}}{10^{-3} \cdot \frac{397,88}{2}} = 25,14 \text{ рад/с.}$$

Частота вращения скалывающего колеса ($v_{СК}$) определяется по формуле:

$$v_{СК} = \frac{\omega_{СК}}{2 \cdot \pi}; \quad (2)$$

$$v_{СК} = \frac{25,14}{2 \cdot 3,14} = 4 \text{ Гц.}$$

Резонансная частота (частота возбуждения) вибратора колебаний определяется по формуле [44]:

$$f \approx f_k = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{C_k}{J_k}} \quad (3)$$

где f – частота возбуждения вибратора колебаний, Гц;

f_k – резонансная частота КК, Гц;

C_k – приведённая жесткость КК, Н·м/рад;

J_k – приведенный момент инерции КК, кг·м².

3.2.2 Кинематическая связь с динамикой устройства

Особенность динамики такого устройства заключается в том, что изменяя длину рычага подвижного груза в устройстве, меняется положение центра масс (ЦМ) КК. На рисунке 16 предложена кинематическая расчетная схема КК с учетом действующих сил на подвижную балку устройства. Схема, изображенная на рисунке 16, позволяет рассмотреть действующие силы на КК, которые можно представить в одной плоскости, тем самым упрощая расчетную схему и вычисление математической модели.

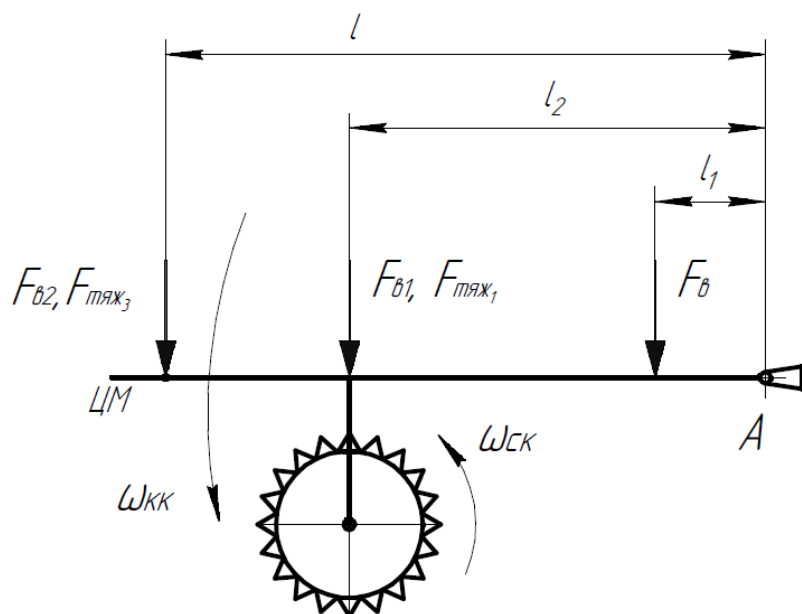


Рисунок 16 – Кинематическая расчетная схема КК:

ЦМ – центр масс; $\omega_{СК}$, $\omega_{КК}$ – соответственно угловая частота скальвающего колеса и КК; l_1 , l_2 , l_3 – соответственно длина плеча РВД, скальвающего колеса и ЦМ; F_v – внешняя сила вибратора, формируемая генератором колебаний; F_{v1} – сила вибратора на скальвающем колесе, F_{v2} – сила вибратора, приложенная к ЦМ; $F_{тяж1}$, $F_{тяж3}$ – соответственно силы тяжести скальвающего колеса, ЦМ.

Наиболее корректным решением задачи регулирования длины рычага (положения) ЦМ относительно точки А (рис. 16) является метод одноплечего рычага. Так как положение ЦМ может меняться в течение определенного времени, учесть данную особенность позволит метод рычага, который обеспечивает связь внешней силы F_v с изменением положения ЦМ и силой инерции скальвающего колеса ($F_{ин1}$) в устройстве [45].

Кинетическая энергия удара КК определяется по формуле:

$$E_k = \frac{m_{ПР} \cdot \mathcal{G}}{2}, \quad (4)$$

где E_k - кинетическая энергия удара КК;

$m_{ПР}$ - приведенная масса подвижного груза, кг;

\mathcal{G} - виброскорость КК, м/с.

Приведенный момент инерции определяется по формуле [45]:

$$J_k = m_{\text{ПР}} \cdot l^2, \quad (5)$$

где l – длина плеча подвижного груза, м.

Пульсирующее давление $\Delta P(t)$ определяется по формуле:

$$\Delta P(t) = \frac{\Delta W(t) \cdot E_{\text{ПР}}}{W_o} \quad (6)$$

где $\Delta P(t)$ – величина пульсирующего давления, МПа;

$E_{\text{ПР}}$ – приведенный модуль объёмной упругости, МПа;

W_o – объем жидкости в гидравлической системе, м³.

3.3 Расчетная схема устройства с учетом привода гидравлического

3.3.1 Блок-схема устройства

Устройство для очистки дорожных покрытий от наледи (рис. 11) представляет собой колебательную систему, которая состоит из трёх связывающих подсистем (привод гидравлический, КК и ТС). В процессе работы устройства, подсистемы взаимодействуют между собой. Процесс взаимодействия происходит от привода гидравлического на КК и ТС. В результате их взаимодействия происходит взаимный энергетический обмен между ними. Блок-схема устройства для очистки дорожных покрытий от наледи представлена на рисунке 17.

Привод гидравлический на блок-схеме (рис. 17) представлен встроенными четырьмя гидравлическими агрегатами (блоками): гидронасос, гидромотор, регулируемый генератор колебаний и вибратор, которые запитаны от гидравлической системы ТС. Входным воздействием колебательной системы, а также данной подсистемы является гидронасос (регулируемый), задача его заключается в изменении расхода (Q_H) жидкости гидронасоса, который напрямую влияет на частоту возбуждения вибратора колебаний.

Колебательный контур на блок-схеме (рис. 17) включает в себя все подвижные части устройства: скальвающее колесо, подвижную балку с грузом и механизм регулирования. Данная подсистема КК в колебательной системе

является выходным блоком, следовательно, амплитуда перемещения и частота колебаний КК являются выходными параметрами. Задача подсистемы на выходе заключается в разрушении наледи с дорожного покрытия посредством ударно-вибрационных нагрузок.

Третья подсистема на блок-схеме (рис. 17) представляет собой ТС с навешенной основной рамой устройства. Подсистема является промежуточной, она воспринимает воздействие от всех подсистем, выполняет роль промежуточной опоры между дорожным покрытием и КК.

Три подсистемы (привод гидравлический, КК и ТС) в совокупности образуют колебательную систему, в которой происходит взаимный энергетический обмен между приводом, КК и ТС (рис. 17). Для эффективной работы такой колебательной системы автор рекомендует максимальную энергию сконцентрировать на КК, а минимальную обеспечить на ТС.

Таким образом, на основании блок-схемы колебательной системы (рис. 17) необходимо рассмотреть отдельно структурную схему привода гидравлического (Приложение Б) и единую расчетную схему для КК вместе с ТС (рис. 18).

Привод гидравлический

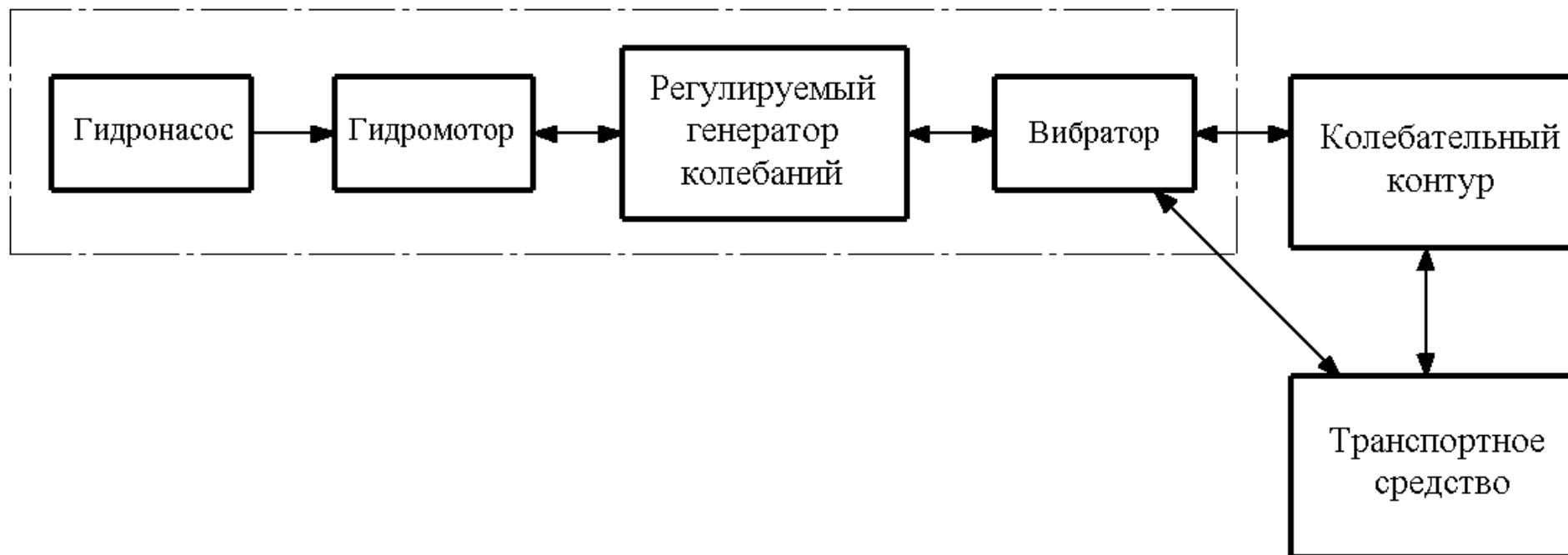


Рисунок 17 – Блок-схема устройства для очистки дорожных покрытий от наледи

3.3.2 Структурная схема привода гидравлического

Структурная схема привода гидравлического в устройстве для очистки дорожных покрытий от наледи представляет подсистему входа, так как изменение параметров в ней влияет не только на остальные подсистемы но и на колебательную систему в целом (Приложение Б). Входным параметром в подсистеме является расход жидкости гидронасоса (Q_H), выходным – внешняя сила вибратора, формируемая регулируемым генератором колебаний (F_B).

Вибратор является выходным блоком подсистемы, который одновременно воздействует посредством силы на подсистемы: КК и ТС.

3.3.3 Расчетная схема устройства

В ходе исследования разработана упрощенная расчетная схема взаимодействия подсистем КК и ТС, которая представляет собой двумассовую систему (рис. 18).

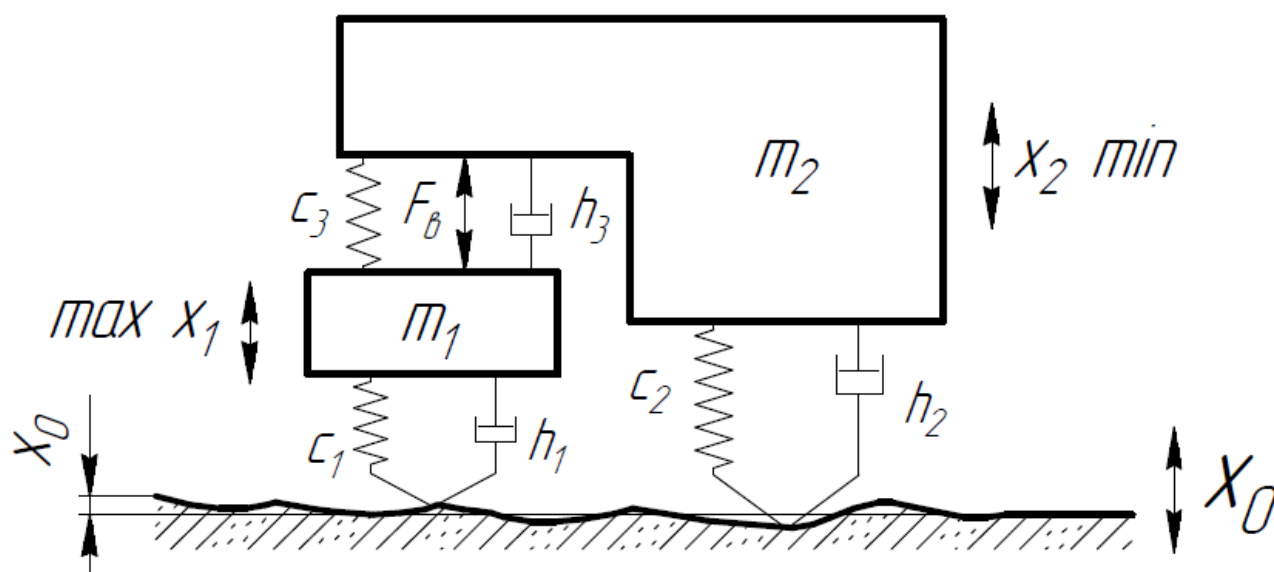


Рисунок 18 – Расчетная схема устройства для очистки дорожных покрытий от наледи:

m_1 – приведенная масса КК; m_2 – приведенная масса ТС; c_1, c_2, c_3 – соответственно, приведенные коэффициенты упругости наледи, ТС, РВД; h_1, h_2, h_3 – соответственно, приведенные коэффициенты демпфирования наледи, ТС, РВД; F_B – внешняя сила вибратора, формируемая генератором колебаний; x_0, x_1, x_2 – соответственно, перемещение, обусловленное неровностью дорожного покрытия, масс m_1 и m_2 .

Вибратор передает воздействие $Fв$ через демпфер h_3 и пружину c_3 на КК устройства имеющий массу m_1 , который принимает воздействие от вибратора и передает одновременно нагрузку на наледь, образующаяся на дорожном покрытий и на ТС массой m_2 . Разрушение дорожной наледи обуславливается нагрузкой, возникающей на скалывающем колесе, которая сопротивляется передаваемому усилию от вибратора через демпфер h_1 и пружину c_1 . Необходимо при такой математической модели обеспечить процесс, при котором вся энергия удара будет переходить в кинетическую энергию, тем самым будет происходить процесс обмена энергией. Неровность дорожного покрытия в свою очередь оказывает противодействие через амортизаторы с коэффициентом демпфирования h_2 и автомобильные шины с коэффициентом жесткости c_2 . Таким образом, КК осуществляет относительно дорожного покрытия возвратно поступательное движение и как следствие колебания.

Приведенная масса КК (m_1) включает в себя соответственно массы: скалывающего колеса, балки, подвижного груза вместе с его механизмом регулирования. Приведенная масса КК определяется по формуле:

$$m_1 = m_{СК} + m_B + m_{ПГ} + m_{МР} \quad (7)$$

где $m_{СК}$ - масса скалывающего колеса, 20 кг;

m_B - масса балки устройства, 85 кг;

$m_{ПГ}$ - масса подвижного груза, 400 кг;

$m_{МР}$ - масса механизма регулирования подвижного груза, 10 кг.

$$m_1 = 20 + 85 + 400 + 10 = 515 \text{ кг}$$

Приведенная масса ТС (m_2) включает в себя следующие массы: основной рамы, гидроцилиндра, РВД, прокладок, фиксатора и приведенную массу ТС. Приведенная масса ТС определяется по формуле:

$$m_2 = m_P + m_{ГЦ} + m_{РВД} + m_P + m_\Phi + m_{ПРТС} \quad (8)$$

где m_P - масса основной рамы устройства, 800 кг;

$m_{ГЦ}$ - масса гидроцилиндра подъема, 18 кг;

$m_{РВД}$ - масса РВД (2 шт.), 0,5 кг;

m_P - масса прокладки (4 шт.), 0,5 кг;

m_Φ - масса фиксатора, 6 кг;

$m_{ПРТС}$ - приведённая масса ТС, 20000 кг;

$$m_2 = 800 + 18 + 2 \cdot 0,5 + 4 \cdot 0,5 + 6 + 20000 = 20827 \text{ кг}$$

3.4 Разработка математической модели устройства

Необходимость рассмотрения математической модели устройства обусловлена тем, что полученные результаты позволят оптимизировать параметры работы устройства, тем самым возможно повышение качества и производительности очистки дорожного покрытия от наледи [46]. В модели принято допущение, что дорожная наледь имеет одинаковую толщину.

Разработка математической модели возможна только после решения расчетной схемы. Решение расчетной схемы устройства осуществляется с помощью подробного анализа каждой подсистемы. Необходимо рассмотреть отдельно расчетную схему КК и ТС. Далее расставить силы, действующие на каждую подсистему. Анализ действия сил рассмотрим с КК, который имеет массу m_1 .

В движение КК приводит сила вибратора F_v , которую формирует регулируемый генератор колебаний (рис. 19).

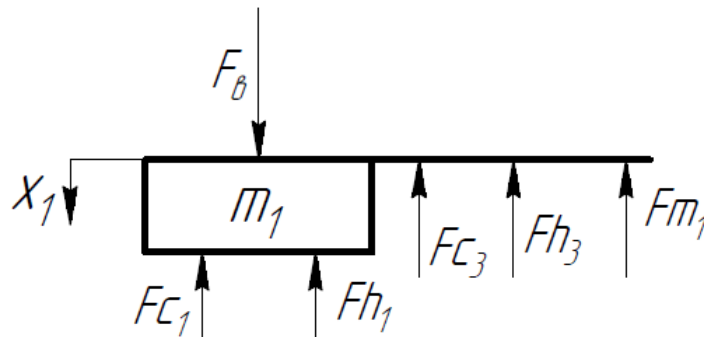


Рисунок 19 – Расчетная схема сил действующих на КК:

F_{m1} – сила инерции КК; F_{h1} , F_{h3} – соответственно силы демпфирования наледи и РВД; F_{c1} , F_{c3} – соответственно силы жесткости наледи и РВД

Исходя из расчетной схемы действующих сил на КК (рис. 16, 18), уравнение баланса сил для КК:

$$F_{\vartheta_1} = Fm_1 + Fh_1 + Fh_3 + Fc_1 + Fc_3 \quad (9)$$

Внешняя сила вибратора F_{ϑ} изменяется по закону синуса, следовательно, она определяется по формуле:

$$F_{\vartheta}(t) = F_A \cdot \sin(\omega t + \psi_0) \quad (10)$$

где F_A - амплитудная сила вибратора, Н;

ω – частота возбуждения вибратора, рад/с;

t – время, с;

ψ_0 - фаза, рад/с.

Амплитудная сила вибратора F_A определяется по следующей формуле:

$$F_A = P_{\max} \cdot S \quad (11)$$

где P_{\max} - максимальное давление в РВД, Па;

S – активная площадь контакта РВД, м².

Согласно схеме распределения сил на балке (рис. 16), сила вибратора на скалывающем колесе определяется с помощью корректировки соотношения рычагов l_1 к l_2 . Тогда внешняя сила на скалывающем колесе определяется по формуле:

$$F_{\vartheta_1} = \frac{F_{\vartheta} \cdot l_1}{l_2} \quad (12)$$

Сила инерции скалывающего колеса и определяется по формуле:

$$Fm_1 = \frac{F_{\text{ин}3} \cdot l}{l_2} \quad (13)$$

Сила инерции ЦМ КК определяется по формуле:

$$F_{\text{ин}3} = m_1 a_1 \quad (14)$$

где a_1 - ускорение ЦМ колебательного контура, м/с².

Сила инерции скалывающего колеса с учетом уравнения (14) определяется по формуле:

$$Fm_1 = \frac{m_1 a_1 \cdot l}{l_2} \quad (15)$$

Заменим Fv_1 , Fm_1 , Fh_1 , Fc_1 , Fc_3 , Fh_3 в уравнении (9), тогда получим полное уравнение, которое описывает движение КК в зависимости от времени:

$$P_{\max} S \frac{l_1}{l_2} \sin(\omega t + \psi_0) = m_1 a_1 \frac{l}{l_2} + h_1(v_0 - v_1) + h_3(v_1 - v_2) + c_1(x_0 - x_1) + c_3(x_1 - x_2) \quad (16)$$

Рассмотрим расчетную схему сил действующих на ТС (рис. 20). Колебания ТС в вертикальном направлении происходят под действием сил жесткости Fc_2 и демпфирования Fh_2 они являются внешними силами для ТС.

На ТС оказывает влияние сила вибратора Fv , которой противодействуют силы жесткости и демпфирования.

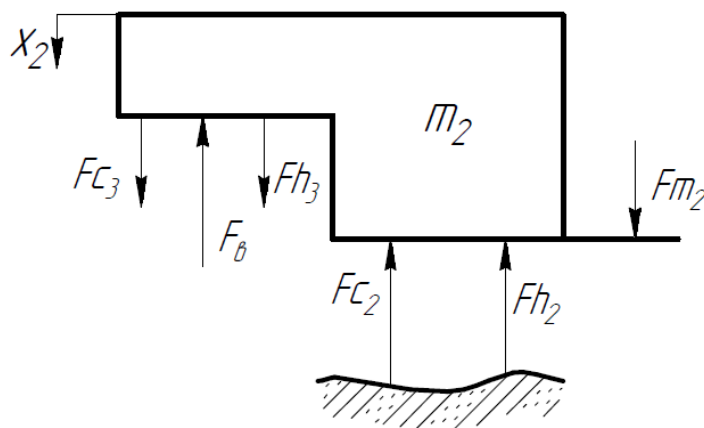


Рисунок 20 – Расчетная схема сил действующих на ТС:

Fm_2 – сила инерции ТС; Fh_2 – сила демпфирования колес ТС; Fc_2 – сила жесткости колес ТС

Исходя из расчетной схемы действующих сил на ТС (рис. 20), уравнение баланса сил для ТС:

$$Fv + Fc_2 + Fh_2 = Fm_2 + Fh_3 + Fc_3 \quad (17)$$

Заменим $F\vartheta$, Fc_2 , Fh_2 , Fm_2 , Fc_3 , Fh_3 в уравнении (17), тогда получим уравнение, которое описывает движение ТС в зависимости от времени.

$$P_{\max} \cdot S \cdot \sin(\omega t + \psi_0) + c_2(x_0 - x_2) + h_2(v_0 - v_2) = m_2 a_2 + h_3(v_1 - v_2) + c_3(x_1 - x_2) \quad (18)$$

Математической модель устройства для очистки дорожных покрытий от наледи состоит из: уравнения КК (16) и уравнения ТС (18).

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dx_1}{dt} = v_1; \\ \frac{dv_1}{dt} = \frac{l_2 \cdot (P_{\max} S \frac{l_1}{l_2} \sin(\omega t + \psi_0) - h_1(v_0 - v_1) - h_3(v_1 - v_2) - c_1(x_0 - x_1) - c_3(x_1 - x_2))}{l \cdot m_1}; \\ \frac{dx_2}{dt} = v_2; \\ \frac{dv_2}{dt} = \frac{P_{\max} \cdot S \cdot \sin(\omega t + \psi_0) + c_2(x_0 - x_2) + h_2(v_0 - v_2) - h_3(v_1 - v_2) - c_3(x_1 - x_2)}{m_2}; \end{array} \right. \quad (19)$$

Математическая модель устройства представлена системой уравнений (19) с учетом методов, рассмотренных в работе [44, 45, 47-50], позволяющая провести оценку амплитуды перемещения и скорости КК и ТС для работы на оптимальных режимах. Можно использовать полученное значение скорости из уравнения (19) для определения кинетической энергии КК и ТС (формула 4).

3.4.1 Расчет коэффициентов характеризующих жесткость льда

Коэффициент жесткости льда при трещинообразовании находится в диапазоне 1000-5200 Н/м. Наилучшим является численное значение коэффициента жесткости льда равным $c_l = 5200$ Н/м [50, 51].

Коэффициент демпфирования льда сложно определить в реальных условиях, поэтому в работе он определяется по формуле [46]:

$$\zeta_n = \frac{h_1}{2 \cdot \sqrt{c_1 \cdot m_n}} \quad (20)$$

где ζ_n - коэффициент демпфирования льда, безразмерная величина, определена эмпирически $\zeta = 0,03$ [52];

h_1 - приведенный коэффициент демпфирования льда, Н*с/м²;

c_1 - приведенный коэффициент жесткости льда, $c_1=5200$ Н/м;

m_l – масса испытуемого образца льда, $m_l=7,13 \cdot 10^7$ кг [52].

Выразим из уравнения (20) приведенный коэффициент демпфирования льда:

$$h_1 = \zeta_n \cdot 2 \cdot \sqrt{c_1 \cdot m_l} \quad (21)$$

$$h_1 = 0,03 \cdot 2 \cdot \sqrt{5200 \cdot 7,13 \cdot 10^7} = 36534 \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}^2}$$

3.4.2 Расчет коэффициентов, характеризующие ТС

В работе приведенный коэффициент жесткости c_2 определяется по формуле (22), который включает в себя коэффициенты жесткости подрессоренной конструкции и автомобильных колес. Приведенный коэффициент жесткости определяется с помощью закона Гука по формуле:

$$c_2 = \frac{F_2}{\Delta x} \quad (22)$$

где F_2 - сила, действующая на ТС, $F_2=50000$ Н, определяется эмпирически;

Δx - перемещение ТС, $\Delta x=0,005$ м, определяется эмпирически.

$$c_2 = \frac{50000}{0,005} = 10^7 \text{ Н/м}$$

Приведенный коэффициент демпфирования ТС включает в себя коэффициенты демпфирования всех амортизаторов ТС. В работе приведенный коэффициент демпфирования ТС определяется по формуле:

$$\zeta = \frac{h_2}{2 \cdot \sqrt{c_2 \cdot m_2}} \quad (23)$$

где ζ - коэффициент затухания, безразмерная величина $\zeta=0.3$ [46];

h_2 - приведенный коэффициент демпфирования ТС;

Выразим из уравнения (23) коэффициент демпфирования ТС:

$$h_2 = \zeta \cdot 2 \cdot \sqrt{c_2 \cdot m_2} \quad (24)$$

$$h_2 = 0,3 \cdot 2 \cdot \sqrt{10^7 \cdot 20827} = 273819,6 \text{ Нс/м}^2$$

3.4.3 Расчет коэффициентов, характеризующие РВД

Приведенный коэффициент жесткости РВД представляет собой приведенную жесткость КК относительно ТС. Задача определения коэффициента жесткости КК в конструкции устройства сводится к определению жесткости РВД. КК имеет два РВД, которые работают в противофазе. РВД имеют одинаковые размеры, следовательно, жесткость первого и второго РВД идентичная. Приведенный коэффициент жесткости устройства состоит из статического коэффициента упругости РВД и динамического. В работе рассматривается РВД диаметром 25 мм (1 дюйм).

В физической модели коэффициент жесткости зависит от диаметра РВД и эффективной площади контакта.

В работе приведенный коэффициент жесткости РВД определяется с помощью закона Гука по формуле:

$$c_3 = \frac{F_3}{\Delta x_1} \quad (25)$$

где F_3 - сила, действующая на РВД, $F_3=2400$ Н, определяется эмпирически;

Δx_1 - перемещение РВД в радиальном направлении, $\Delta x_1=0,002$ м, определяется эмпирически.

$$c_3 = \frac{2400}{0,002} = 1,2 \cdot 10^6 \text{ Н/м}$$

Приведенный коэффициент демпфирования РВД представляет собой потери на трение слоев жидкости между собой в РВД. В работе коэффициент демпфирования РВД определяется по формуле:

$$\zeta_1 = \frac{h_3}{2 \cdot \sqrt{c_3 \cdot m_1}} \quad (26)$$

где ζ_1 - коэффициент затухания, безразмерная величина $\zeta = 0,07$. Определяется эмпирически, диапазон затухания от 0,05 до 0,1 [53];

h_3 - приведенный коэффициент демпфирования РВД;

Выразим из уравнения (26) коэффициент демпфирования РВД:

$$h_3 = \zeta_1 \cdot 2 \cdot \sqrt{c_3 \cdot m_1} \quad (27)$$

$$h_3 = 0,07 \cdot 2 \cdot \sqrt{1,2 \cdot 10^6 \cdot 515} = 3480 \text{ Нс/м}^2$$

3.5 Математическая модель устройства с приводом

На основании блок-схемы (рис. 17), расчетной схемы (рис. 18) и структурной схемы привода гидравлического (рис. 39) рассмотрим комплексную структурную схему колебательной системы (рис. 21).

Структурная схема (рис. 21) содержит: привод гидравлический со всеми встроенными гидравлическими агрегатами, КК и ТС. Разработанная структурная схема необходима для комплексного теоретического исследования. Комплексная структурная схема устройства с приводом (рис. 21) учитывает влияние входного параметра (расхода), который изменяет частоту вибратора колебаний на подсистемы КК и ТС посредством обратной связи, которая связывает КК с моментом сил регулируемого генератора колебаний.

Регулируемый генератор колебаний конструктивно представляет собой две плунжерные пары, которыми в противофазе управляет кулачковый механизм. Кулачок в поперечном сечении имеет форму правильного треугольника, углы которого скруглены. В работе регулируемый генератор колебаний с кулачковым механизмом представлен, как цикловой механизм.

Характерной особенностью цикловых механизмов является нелинейность функции положения, трансформирующей координату на «входе» механизма в координату на «выходе» [54].

Нелинейную функцию заменяем на нестационарную связь. В работе принимается допущение о том, что масса плунжера (первого и второго) в

математической модели не учитывается, так как сам он имеет маленький размер относительно всей конструкции [55].

В работе принято допущение о том, что параметры, которые описывают математическую модель, являются константами.

Комплексная структурная схема (рис. 21) позволяет исследовать наличие инерционных и упруго-диссипативных характеристик привода гидравлического [54, 55, 56, 57]. Для проведения исследования в работе пренебрегаем зазорами циклового механизма (регулируемого генератора колебаний) и считаем, что все звенья являются жесткими.

Нестационарные связи, которые возникают в регулируемом генераторе колебаний могут быть важным источником повышения виброактивности в цикловом механизме. В этом случае эффективный коэффициент диссипации, соответствующий нелинейным позиционным диссипативным силам, существенно снижается и даже может стать отрицательным, что, приводит к увеличению амплитуд колебаний [54, 55, 56, 57].

Для решения математической модели разработана в программе Matlab Simulink структурная схема устройства с учетом его привода (Приложение В).

Привод гидравлический

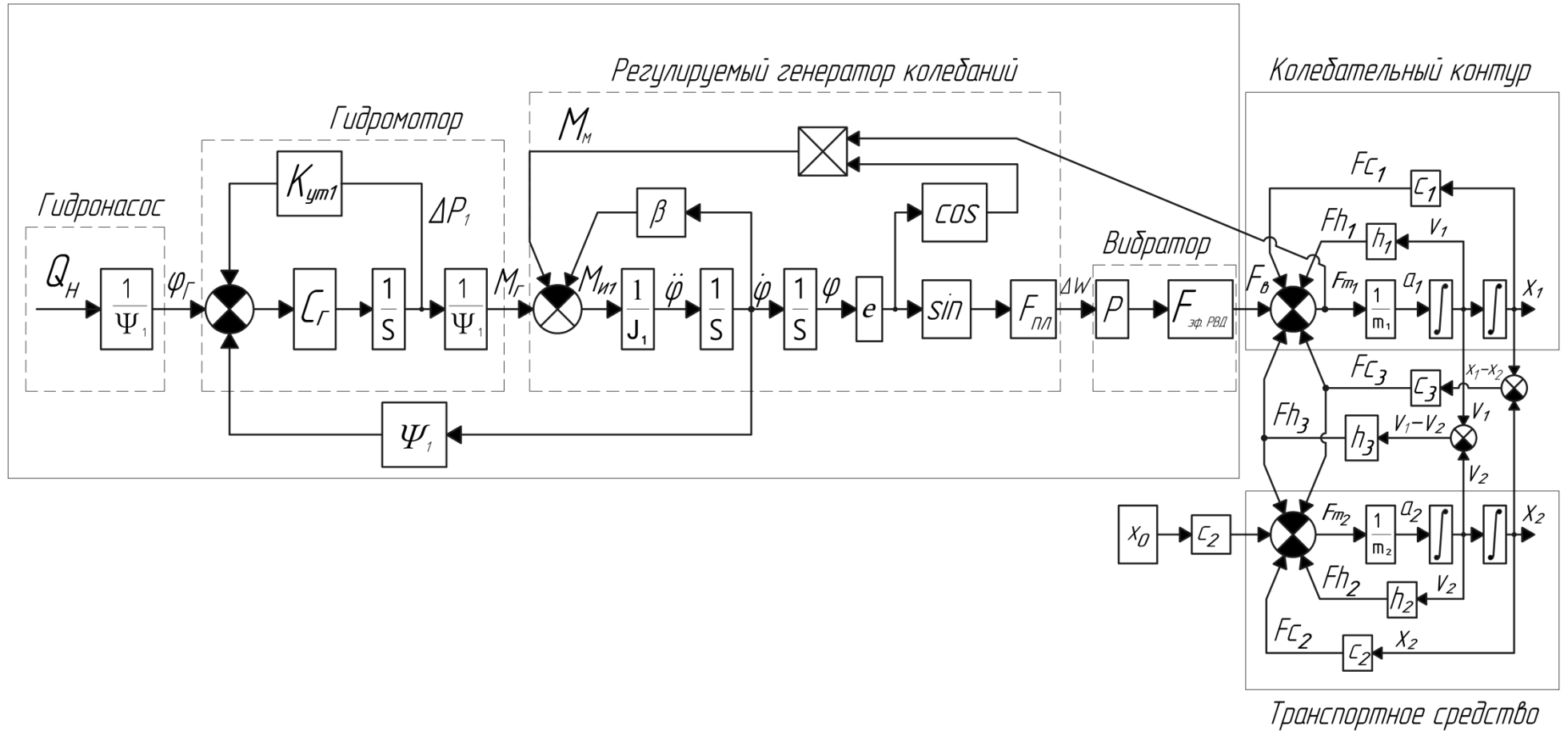


Рисунок 21 – Комплексная структурная схема устройства с гидравлическим приводом

3.6 Теоретическое исследование математической модели

3.6.1 Исследование коэффициента жесткости РВД

В работе необходимо провести исследование коэффициента жесткости РВД, которое позволит определить его влияние на амплитуду перемещения КК.

Интересным в исследовании является амплитуда перемещения КК, так как она характеризует толщину обрабатываемой наледи на дорожном покрытии, следовательно, влияние коэффициента жесткости РВД на амплитуду перемещения КК имеет важное значение.

Исследование заключается в проведении трех экспериментов (таб. 1), в каждом из которых, изменяя коэффициент жесткости РВД на порядок при неизменных остальных параметрах, учитывается изменение амплитуды перемещения КК.

Таблица 1 - План эксперимента

№ эксперимента	Коэффициент жесткости РВД, Н/м
1	$1,2 \cdot 10^6$
2	$1,2 \cdot 10^7$
3	$1,2 \cdot 10^8$

Теоретические эксперименты (таб. 1) математической модели исследования амплитуды перемещения КК от коэффициента жесткости РВД необходимо провести в программной среде Matlab, результаты которых представить в виде графиков (рис. 26; Приложение Г).

3.6.2 Исследование влияния расхода гидронасоса на частоту возбуждения вибратора колебаний

В работе необходимо провести исследование влияния расхода гидронасоса на частоту возбуждения вибратора.

Интересным в исследовании является частота возбуждения вибратора, она характеризует режим работы устройства.

Исследование заключается в проведении восьми экспериментов (таб. 2), в которых, изменяя расход гидронасоса на определённую величину (0,1 л/с) при

неизменных остальных параметрах, учитывается изменение частоты возбуждения вибратора. План эксперимента представлен в таблице 2.

Таблица 2 - План эксперимента при изменении расхода гидронасоса

№ эксперимента	Расход гидронасоса, л/с
1	0,1
2	0,2
3	0,3
4	0,4
5	0,5
6	0,6
7	0,7
8	0,8

Теоретические эксперименты (таб. 2) математической модели исследования расхода гидронасоса на частоту возбуждения вибратора колебаний необходимо провести в программной среде Matlab Simulink, результаты которых представить в виде графиков (рис. 28).

3.6.3 Исследование режимов работы устройства ХХ и под нагрузкой

Необходимо провести теоретический эксперимент на предмет влияния частоты возбуждения вибратора колебаний на амплитуду перемещения КК и ТС; кинетическую энергию удара и ТС.

Теоретический эксперимент состоит из основных двух этапов, которые имеют по три эксперимента. Первый этап содержит исследования математической модели на холостом ходу, второй этап включает в себя исследования математической модели, которая учитывают нагрузку. Каждый из этапов состоит из трёх экспериментов (на трех режимах). В работе рассматривается три режима: дорезонансный, резонансный и зарезонансный.

Под резонансным режимом работы устройства рассматривается режим, при котором частота возбуждения вибратора колебаний f равна собственной частоте КК ($f_K = 17,5$ Гц).

Под дорезонансным режимом работы устройства рассматривается режим, при котором частота возбуждения вибратора колебаний f меньше собственной частоте КК ($f = 8,5$ Гц).

Под зарезонансным режимом работы устройства рассматривается режим, при котором частота возбуждения вибратора колебаний f больше собственной частоте КК ($f = 37$ Гц).

3.6.3.1 Исследование устройства на ХХ

На первом этапе исследования математической модели необходимо провести три эксперимента с устройством, которое работает на ХХ, т.е. наледь отсутствует ($c_1=h_1=0$), следовательно вся энергия расходуется только на движение КК. План эксперимента представлен в таблице 3.

Таблица 3 - План эксперимента работы устройства на ХХ ходу

№ эксперимента	Режим работы устройства	Частота возбуждения вибратора, Гц	Коэффициент жесткости наледи, Н/м	Коэффициент демпфирования наледи, Н*с/м
1	Дорезонансный	8,5	0	0
2	Резонансный	17,5	0	0
3	Зарезонансный	37	0	0

Теоретические эксперименты (таб. 3) математической модели исследования амплитуды перемещения КК и ТС, а также кинетической энергии удара и ТС от частоты возбуждения вибратора колебаний необходимо провести в программной среде Matlab Simulink, результаты которых представить в виде графиков (рис. 29, 30; Приложение Д).

3.6.3.2 Исследование устройства под нагрузкой

На втором этапе исследования математической модели необходимо провести три эксперимента с устройством, которое работает под нагрузкой, т.е. на скалывающем колесе подразумевается нагрузка, под которой в данном моделировании подразумевается процесс механического скалывания наледи.

Имитировать нагрузку в математической модели можно путем увеличения коэффициентов: c_1 и h_1 ($c_1 \neq h_1 \neq 0$). План эксперимента представлен в таблице 4.

Таблица 4 - План эксперимента работы устройства под нагрузкой

№ эксперимента	Режим работы устройства	Частота возбуждения вибратора, Гц	Коэффициент жесткости наледи, Н/м	Коэффициент демпфирования наледи, Н*с/м
1	Дорезонансный	8,5	5200	100
2	Резонансный	17,5	5200	100
3	Зарезонансный	37	5200	100

Теоретические эксперименты (таб. 4) математической модели исследования амплитуды перемещения КК и ТС, а также кинетической энергии удара и ТС от частоты возбуждения вибратора колебаний необходимо провести в программной среде Matlab Simulink, результаты которых представить в виде графиков (рис. 31, 32; Приложение Е).

3.7 Экспериментальное исследование

Для проведения реального эксперимента модернизирован лабораторный стенд, направленный на имитацию работы устройства для очистки дорожных покрытий от наледи (рис. 22).

Лабораторный стенд состоит (22) из электродвигателя, который через упругую муфту соединен с регулируемым объемным гидронасосом запитанным посредством шлангов с гидравлическим баком. Напорный штуцер гидронасоса соединен с тройником, который имеет прямое ответвление на фильтр и обратное ответвление на предохранительный клапан и сливной кран, которые посредством металлических трубок соединены с гидравлическим баком.

Фильтр через металлические трубки связан с манометром и входным штуцером гидромотора. Выходной штуцер гидромотора связан с обратным клапаном, который установлен перед гидравлическим баком и передающий поток жидкости в одном направлении в гидравлический бак.

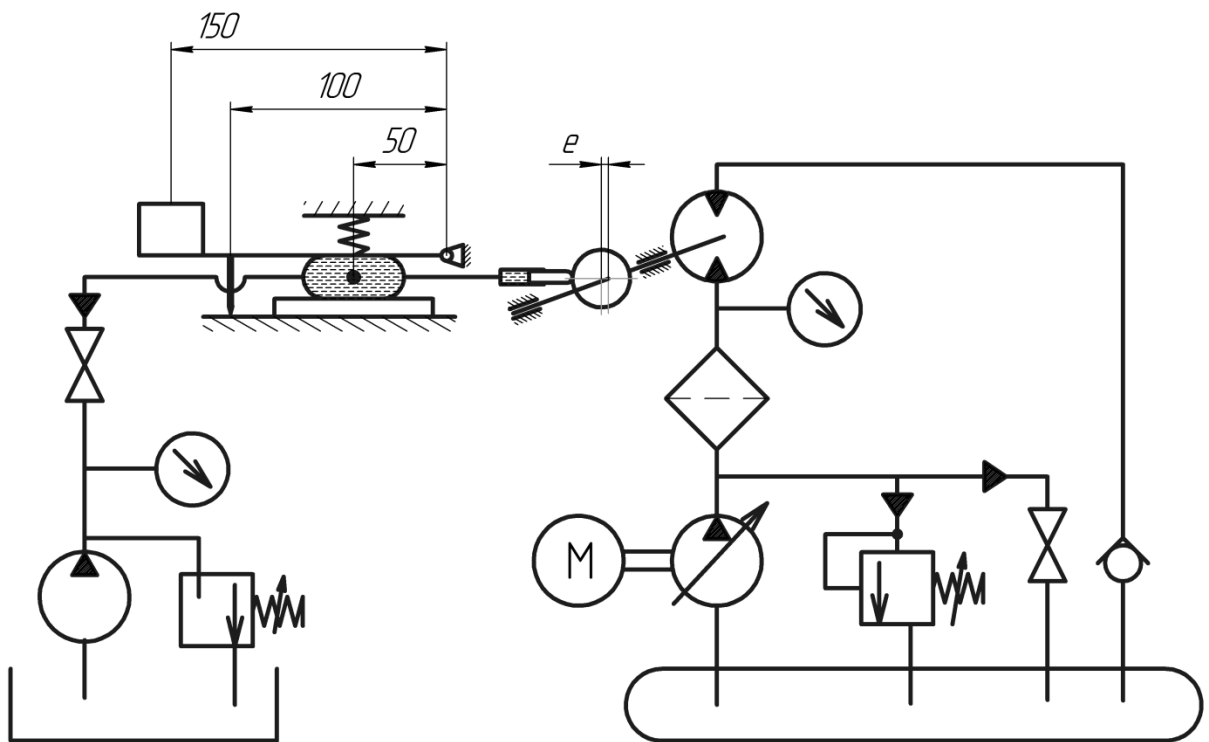


Рисунок 22 – Кинематическая и гидравлическая схема экспериментального лабораторного стенда

Гидромотор через муфту связан с генератором колебаний, который имеет подшипник качения, выполняющий роль кулачка с эксцентриситетом (e). Кулачок имеет контакт с плунжерной парой, которая установлена в генераторе колебаний. Плунжерная пара посредством металлических трубок связана с одним концом РВД, который радиально сдеформирован в радиальном направлении под действием консольной балки с подвижным грузом. Консольная балка посредством подшипника скольжения установлена в опору, которая крепится при помощи резьбового соединения на цилиндрическую платформу (болванку), имитирующая ТС. Нагрузку подвижной балки обеспечивает пружина, которая верхним концом крепится к неподвижной опоре, а нижним поджимает РВД.

Второй конец РВД имеет связь посредством металлических трубок с сливным краном, который связан с ручным насосом, предохранительным клапаном и манометром. Ручной насос и предохранительный клапан запитаны от открытого бака.

Общий вид экспериментального лабораторного стенда проиллюстрирован на рисунке 23 и 24.

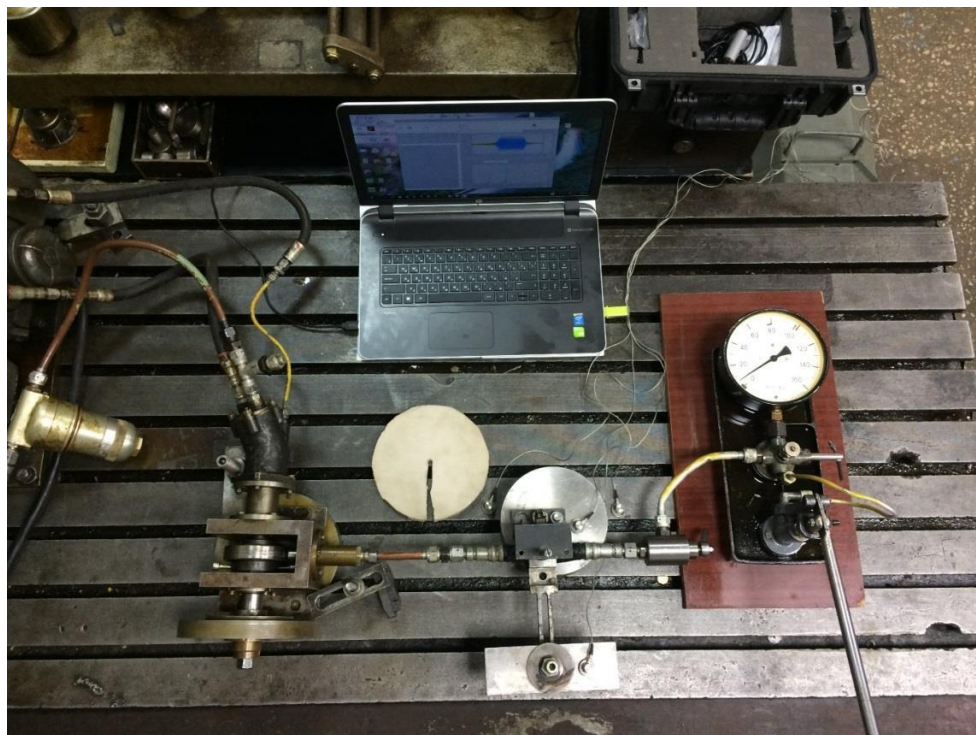


Рисунок 23 – Общий вид экспериментального лабораторного стенда



Рисунок 24 – Общий вид экспериментального лабораторного стенда

3.7.1 Проведение эксперимента

На лабораторном стенде проводился эксперимент с целью исследования работы устройства на резонансном режиме. Резонансный режим подбирался исходя из расчетных значений параметров полученных при математическом моделировании, далее производилась корректировка по результатам измерения.

Измерения данных на лабораторном стенде производилось с помощью переносного измерительного комплекса К-5101, которые записывались в ноутбук. Для записи на ноутбуке использовалось специальное программное обеспечение «Виброрегистратор-Ф» [57]. Датчики (акселерометры) располагались следующим образом (рис. 25): 1 – на подвижной платформе, которая имитирует КК; 2 – на массе, которая имитирует ТС; 3 – на основании, имитирующее дорожное покрытие.

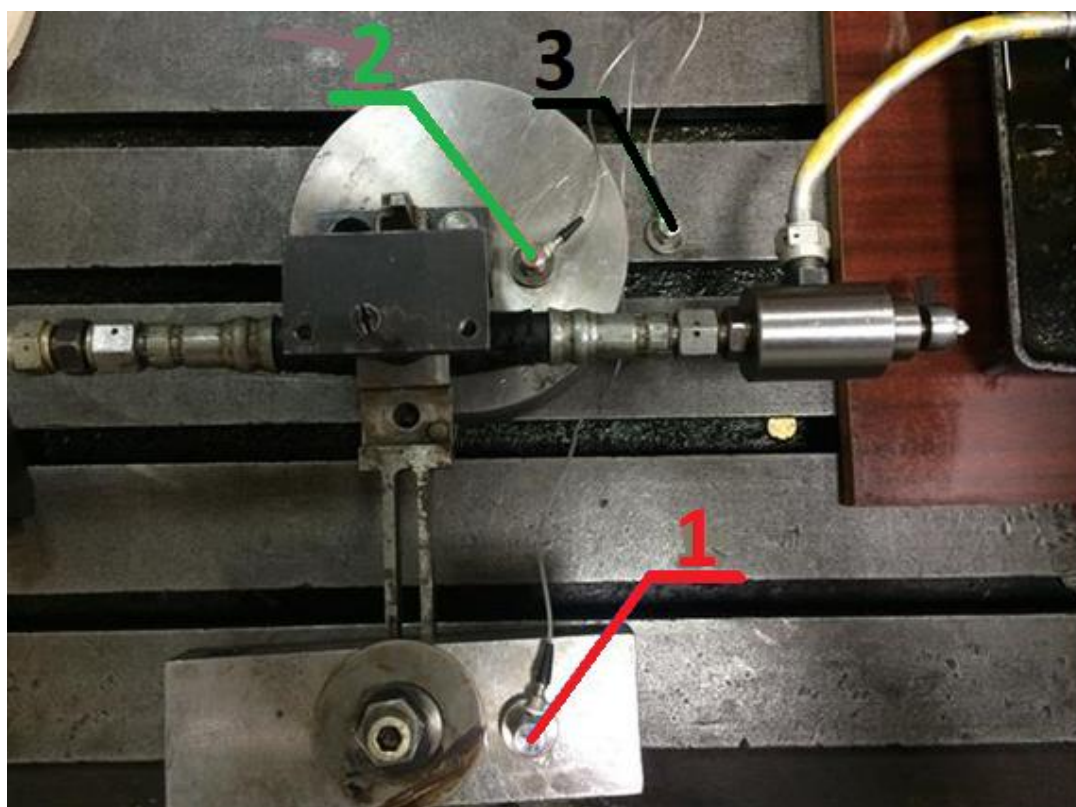


Рисунок 25 – Схема установки датчиков

В связи с тем, что лабораторный стенд ограничен по техническим характеристикам по сравнению с математической моделью на которой проводились теоретические эксперименты (стенд не позволяет достичь перемещение КК равным 130 мм), принято решение эмпирическим путем

подобрать резонансный режим (XX) колебаний КК. Далее замерить на стенде эмпирическим путем все коэффициенты и подставить их в математическую модель для сравнения результатов.

Результат реального эксперимента на лабораторном стенде при резонансном режиме на XX представлен в виде графика (рис. 34, 35).

3.7.2 Подготовка эксперимента для апробации математической модели

В результате проведения эксперимента на лабораторном стенде произведена корректировка параметров математической модели.

Исходными данными теоретического исследования математической модели являются параметры, полученные в работе расчетным путем (таб. 5).

Исходные данные (таб. 5) представлены с учетом того, что апробация математической модели осуществляется на XX, следовательно, нагрузка на скальвающем колесе отсутствует ($c_1=h_1=0$).

Таблица 5 - Исходные параметры математической модели

Параметр	Численное значение	Единицы измерения
m_1	515	кг
m_2	20827	кг
c_1	0	Н/м
c_2	10000000	Н/м
c_3	1200000	Н/м
h_1	0	Н*с/м ²
h_2	273819	Н*с/м ²
h_3	3480	Н*с/м ²
l_1, l_2, l	0,05; 0,1; 0,15	м

Лабораторный стенд имеет свои параметры, некоторые из них отличаются от математической модели устройства (таб. 6).

Таблица 6 – Параметры лабораторного стенда

Параметр	Численное значение	Единицы измерения
m_1	2,5	кг
m_2	25	кг
c_1	0	Н/м
c_2	12000	Н/м
c_3	5900	Н/м
h_1	0	Н*с/м ²

h_2	2400	H^*c/m^2
h_3	400	H^*c/m^2
l_1, l_2, l	0,3; 0,8; 1	м

С учетом реального эксперимента в математической модели необходимо скорректировать следующие параметры: приведенную массу КК и ТС; коэффициенты жесткости РВД, и ТС; коэффициенты демпфирования РВД и ТС; длины плеч рычага.

Для апробации необходимо подставить в математическую модель скорректированные параметры, которыми обладает лабораторный стенд.

Замеры реального эксперимента при работе лабораторного стенда на ХХ в резонансном режиме проводились с помощью переносного измерительного комплекса К-5101, которые записывались в ноутбук. Для записи на ноутбуке использовалось специальное программное обеспечение «Виброрегистратор-Ф».

Результат реального эксперимента на ХХ при резонансном режиме представлен в виде графиков (рис. 34, 35).

Выводы по главе

В результате анализа механических устройств для очистки дорожных покрытий от наледи, разработана принципиальная схема нового устройства для очистки дорожных покрытий от наледи. Предложенная конструкция обладает низкой энергозатратностью, достаточной производительностью.

На основе принципиальной схемы устройства составлена блок-схема, которая включает в себя три подсистемы: привод гидравлический, КК и ТС.

В соответствии с блок-схемой составлена расчетная схема взаимодействия двух подсистем: КК и ТС. На основе расчетной схемы составлена математическая модель, которая позволяет учитывать взаимный энергетический обмен между КК и ТС. Учитывая все три подсистемы блок-схемы, разработана комплексная структурная схема с учетом гидравлического привода, которая позволяет провести теоретические исследования работы устройства при различных режимах на ХХ и под нагрузкой.

Для проведения апробации математической модели модернизирован и доработан лабораторный стенд имитирующий устройство для очистки дорожных покрытий от наледи.

Таким образом, в работе представлены методики проведения теоретических и практических экспериментов, которые позволят провести комплексное исследование и сравнить данные моделирования с реальным экспериментом.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕДЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

В данной главе представлены результаты теоретических и практических экспериментов.

4.1 Влияние коэффициента жесткости РВД на перемещение КК

Результат первого теоретического эксперимента (таб. 1) математической модели исследования амплитуды перемещения КК от коэффициента жесткости РВД представлен на рисунке 26.

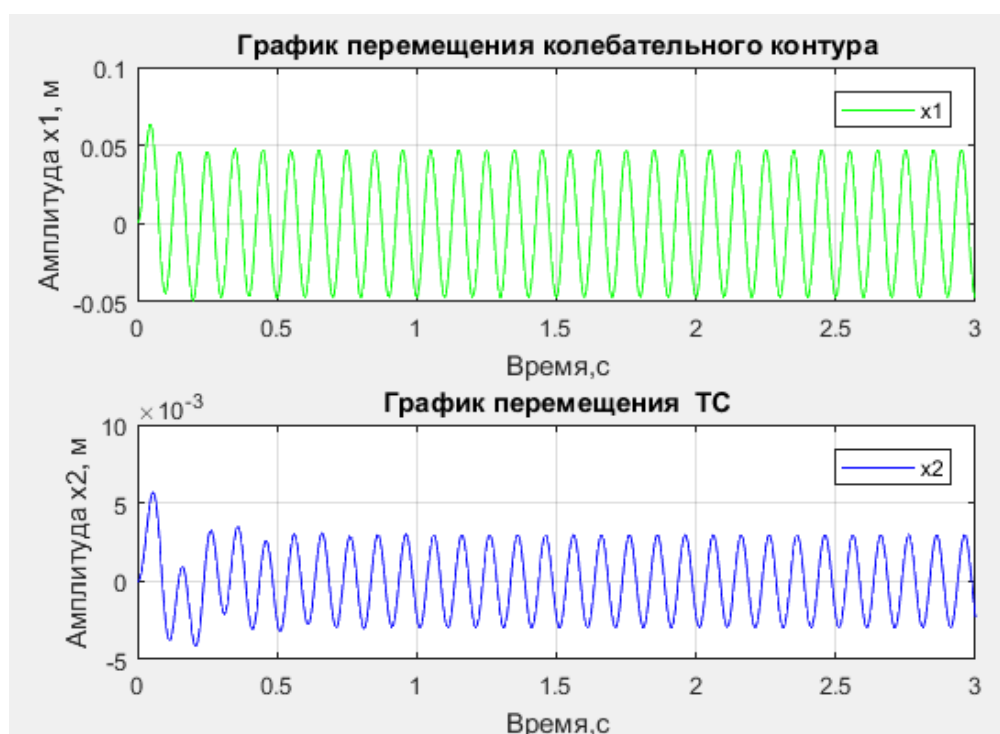


Рисунок 26 – Перемещения КК и ТС при исследовании коэффициента жесткости РВД равным 1000000 Н/м

Амплитуда перемещения КК (x_1) составляет 50 мм. Амплитуда перемещения ТС (x_2) составляет 3 мм. Частота возбуждения вибратора составляет 10 Гц. Результаты остальных двух экспериментов (таб. 1) представлены в Приложении Г.

В результате проведенного теоретического исследования на основе данных моделирования (рис. 26; Приложение Г), установлена зависимость перемещения КК и ТС от коэффициента жесткости РВД (рис. 27).

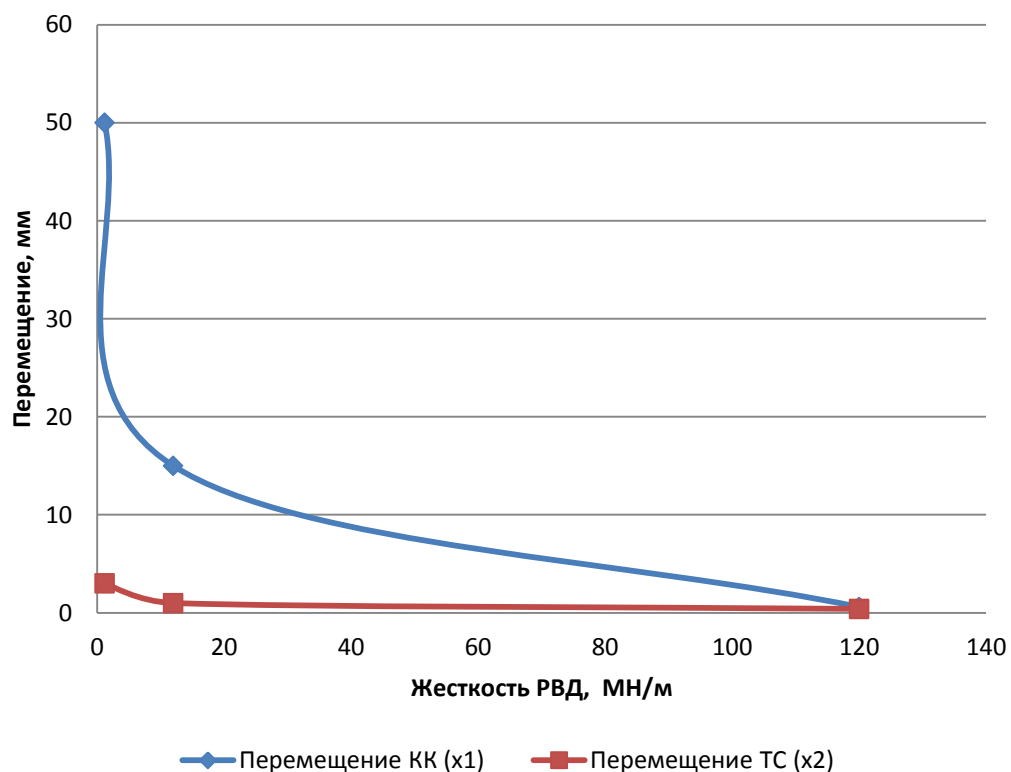


Рисунок 27 – Зависимость перемещения КК и ТС от жесткости РВД

Перемещение КК (рис. 27) эффективно регулировать изменением коэффициента жесткости РВД в диапазоне от 0 до 15 МН/м. Изменение жесткости РВД выше 15 МН/м не приводит к существенному изменению перемещение КК.

Перемещение ТС с увеличением коэффициента жесткости РВД стремиться к нулю.

Таким образом, можно сделать вывод, что чем больше коэффициент жесткости РВД тем меньше амплитуда вибратора колебаний, следовательно, меньше амплитуда перемещения КК и ТС.

4.2 Влияние расхода гидронасоса на частоту вибратора колебаний

В результате проведенных теоретических экспериментов математической модели (таб. 2) установлена зависимость частоты возбуждения вибратора колебаний от расхода гидронасоса (рис.28).

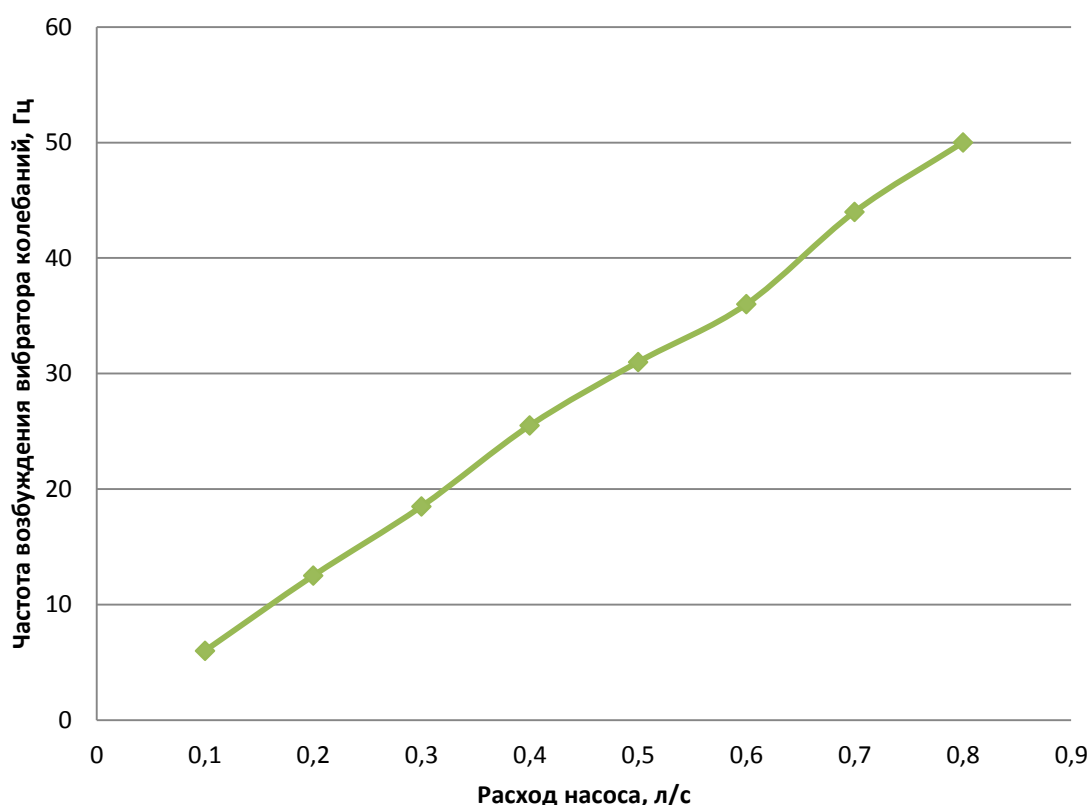


Рисунок 28 – Зависимость частоты возбуждения вибратора колебаний от расхода гидронасоса

Расход гидронасоса прямо пропорционален частоте возбуждения вибратора колебаний (рис. 28). Увеличение расхода гидронасоса всегда приводит к увеличению частоты возбуждения вибратора колебаний.

Таким образом, можно предположить, что увеличение расхода гидронасоса на каждые 0,1 литра в секунду будет способствовать увеличению частоты возбуждения вибратора колебаний на 6,3 Гц.

4.3 Характеристика работы устройства при различных режимах

4.3.1 Характеристика резонансного режима работы устройства на ХХ

Результат теоретического эксперимента (таб. 3) математической модели исследования устройства на ХХ при резонансном режиме работы представлен на рисунке 29 (Приложение Д). Результаты остальных теоретических экспериментов (таб. 3) представлены в Приложении Д.

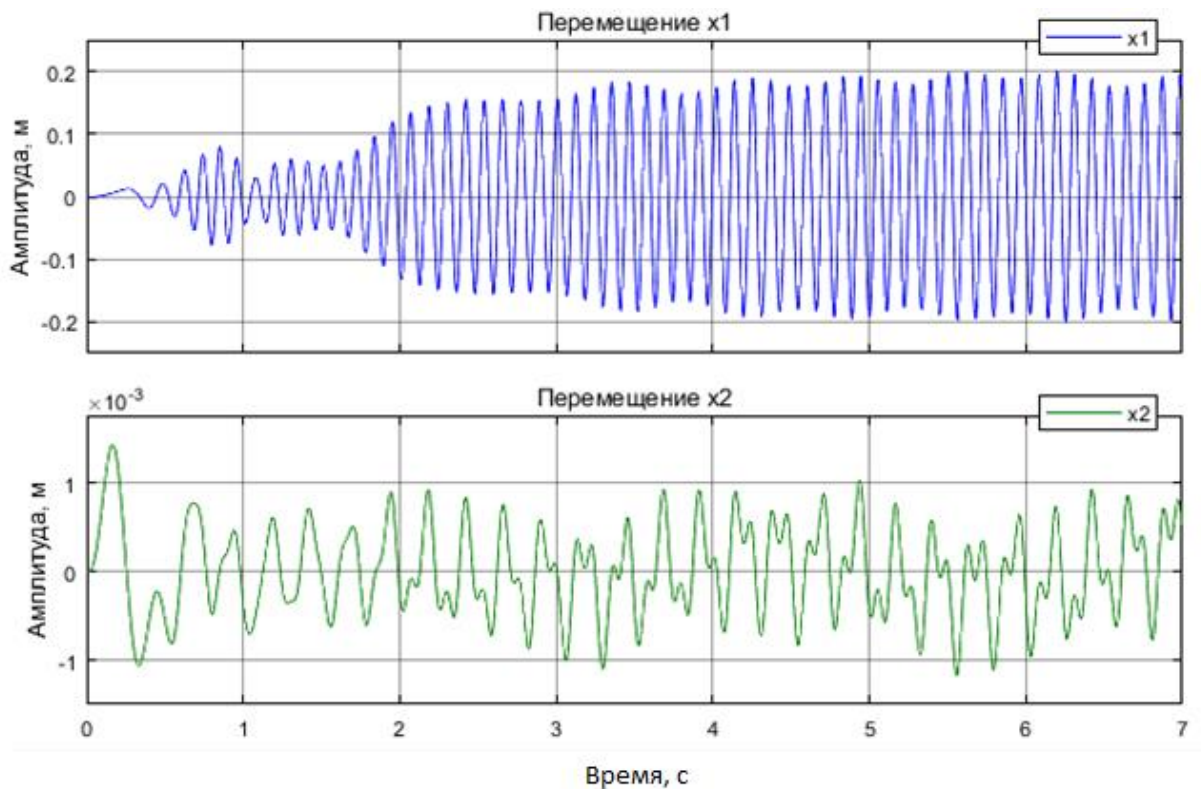


Рисунок 29 – Перемещения КК и ТС при резонансном режиме на ХХ

График (рис. 29) перемещения КК имеет переходной процесс, который занимает 4 секунды, форма его сигнала близка к гармоническому сигналу. Максимальная амплитуда перемещения достигает 200 мм, что является допустимым для высокой толщины наледи. Амплитуда перемещения ТС на графике составляет не более 1 мм (без учета переходного режима, который длится 0,5 секунды), что является приемлемым. На графике перемещения КК отслеживается резонанс, так как имеется резкое увеличение амплитуды колебания за короткий промежуток времени. Это также подтверждается графиком АФЧХ (Приложение Д). Резонанс наблюдается на собственной частоте вибратора колебаний ($f = 17,5$ Гц), что подтверждается на его спектре (Приложение Д).

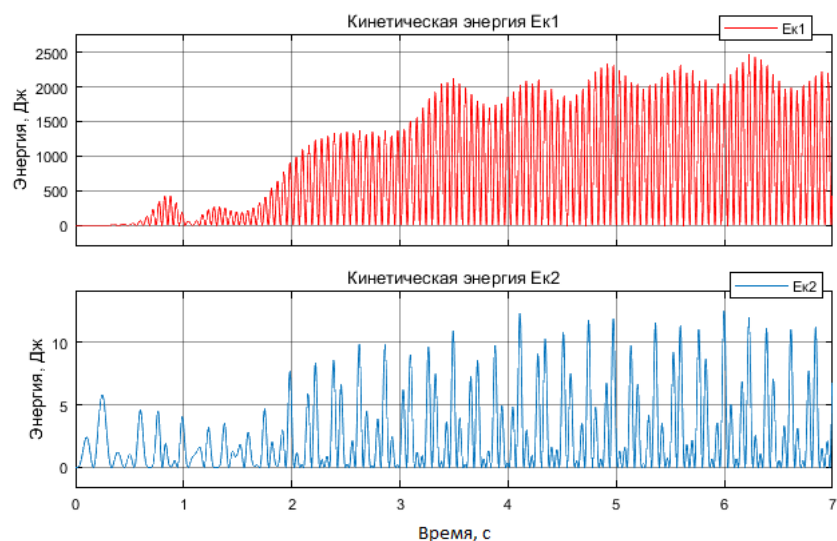


Рисунок 30 – Кинетическая энергия удара и ТС при резонансном режиме на ХХ

Максимальное значение кинетической энергии удара (Ек1) составляет 2500 Дж, однако значение кинетической энергии ТС (Ек2) не превышает 15 Дж.

4.3.2 Характеристика резонансного режима работы устройства под нагрузкой

Результат теоретического эксперимента (таб. 4) математической модели исследования устройства под нагрузкой при резонансном режиме работы представлен на рисунке 31 (Приложение Е). Результаты остальных теоретических экспериментов (таб. 4) представлены в Приложении Е.

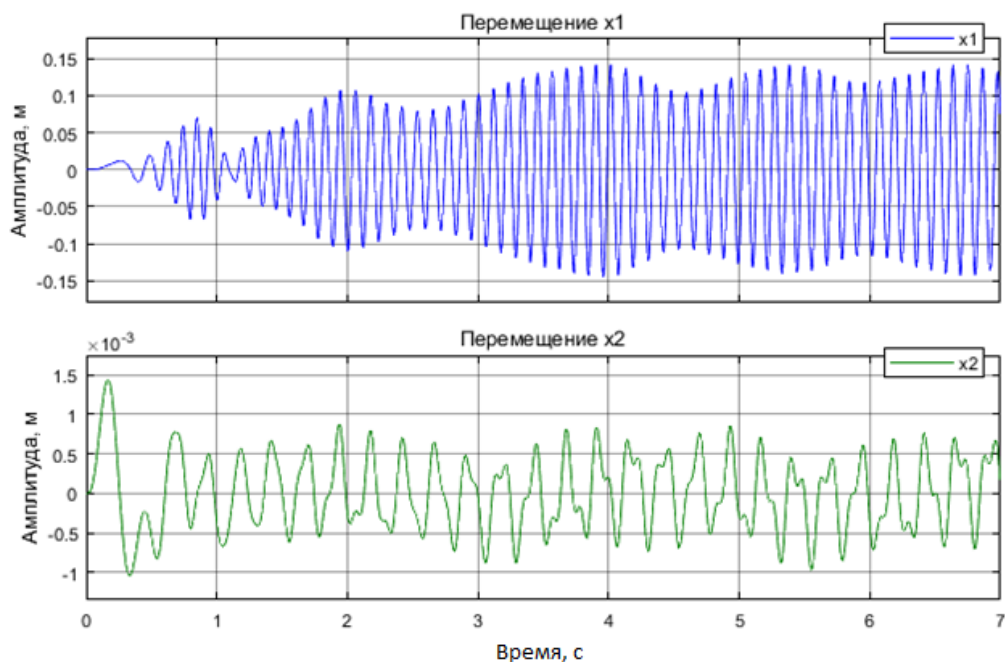


Рисунок 31 – Перемещения КК и ТС при резонансном режиме под нагрузкой

График (рис. 31) перемещения КК имеет переходной процесс, который занимает 4 секунды, форма его сигнала имеет некоторые отклонения, от гармонического сигнала. Огибающая графика перемещения КК показывает процесс разрушения наледи, который представляет разную амплитуду перемещения КК в момент подъема инструмента и при ударе в наледь.

Максимальная амплитуда перемещения КК достигает 150 мм, что является допустимым для высокой толщины наледи. Амплитуда перемещения ТС на графике составляет не более 1 мм (без учета переходного режима, который длится 1 секунду), что является приемлемым. На графике перемещения КК отслеживается резонанс, так как имеется резкое увеличение амплитуды колебания за короткий промежуток времени. Это также подтверждается графиком АФЧХ (Приложение Е). Резонанс наблюдается на собственной частоте вибратора колебаний ($f = 17,5$ Гц), что подтверждается на его спектре (Приложение Е).

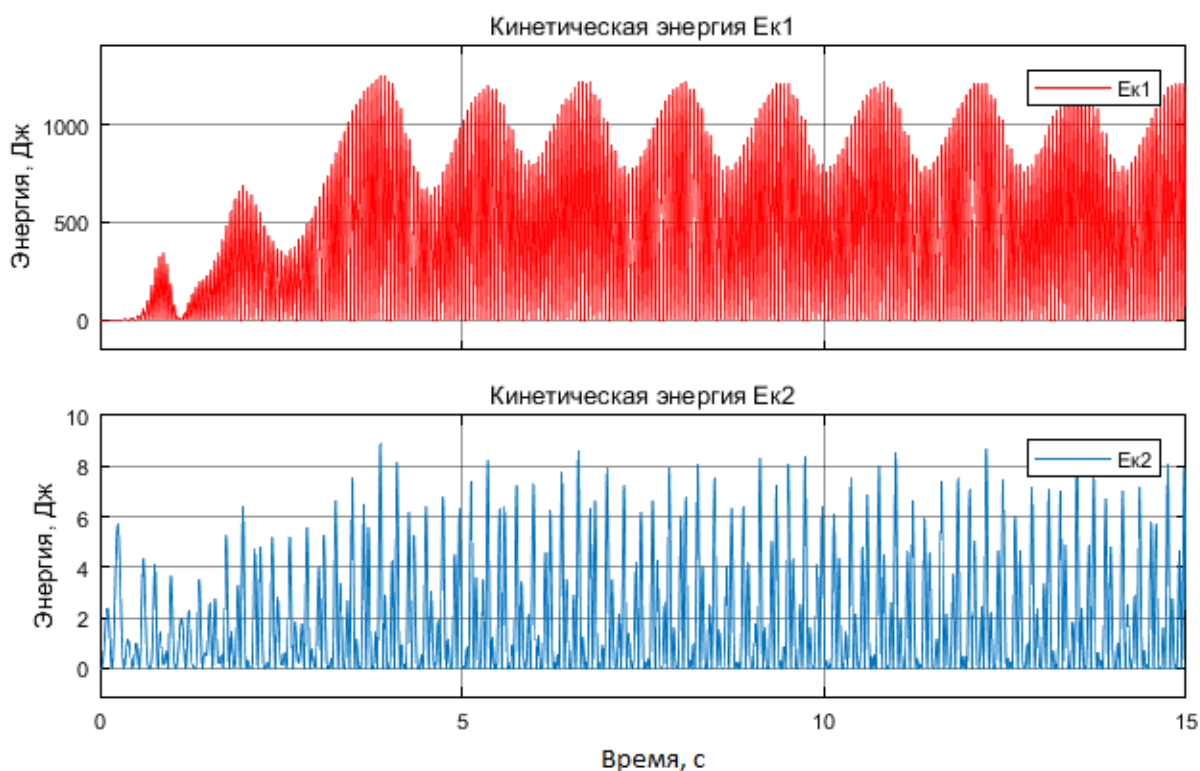


Рисунок 32 – Кинетическая энергия удара и ТС при резонансном режиме под нагрузкой

Максимальное значение кинетической энергии удара составляет 1280 Дж, однако значение кинетической энергии ТС не превышает 9 Дж.

В результате проведенных теоретических исследований получена кривая режимов работы устройства, а также установлена зависимость перемещения КК от частоты возбуждения вибратора колебаний (рис. 54).

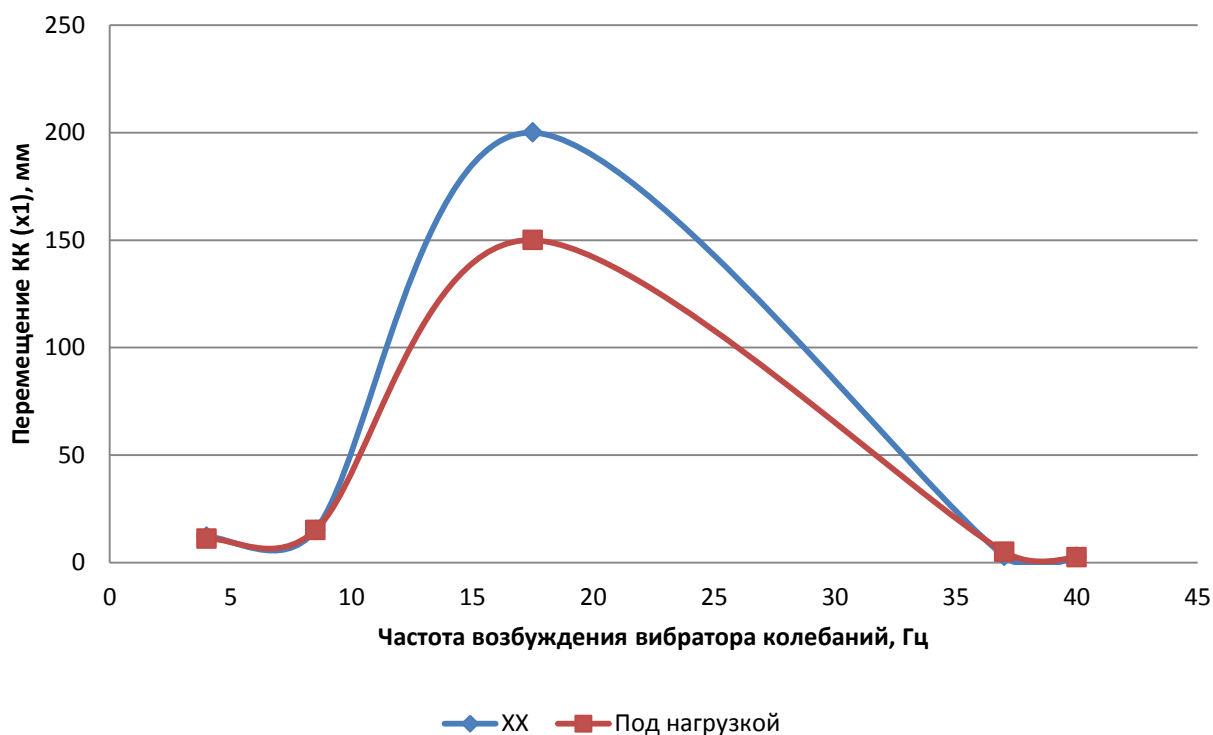


Рисунок 33 – Зависимость амплитуды перемещения КК от частоты возбуждения вибратора колебаний

График (рис. 33) характеризует оптимальные режимы работы устройства для очистки дорожных покрытий от наледи. Амплитуда перемещения КК под нагрузкой представляет собой толщину дорожной наледи. Следовательно, кривая зависимости на графике показывает, как необходимо выбирать частоту возбуждения вибратора колебаний в зависимости от толщины дорожной наледи.

Кривая на графике имеет три участка (режима), которые характеризуют режим работы устройства: дорезонансный, резонансный и зарезонансный.

Как видно на графике при резонансном режиме максимальная амплитуда перемещения КК на XX составляет 200 мм, под нагрузкой 150 мм.

Уменьшая частоту возбуждения вибратора колебаний (переход с резонансного режима в дорезонансный) способствует уменьшению амплитуды перемещения КК в 10 раз.

Увеличение частоты возбуждения вибратора колебаний (переход с резонансного режима в зарезонансный) способствует уменьшению амплитуды перемещения КК в 100 раз.

Форма полученной кривой (рис. 33) является близко похожей к параболе. Отклонение формы от классической параболы объясняется тем, что параметры, описывающие математическую модель для упрощенного решения приняты константами, а на самом деле они таковыми не являются.

Следовательно, принятые допущения при вычислении повлияли на результат, следовательно, и на форму полученной кривой. Однако полученная кривая при решении математической модели с помощью параметров констант не искажает главную информацию, следовательно, можно предполагать, что полученная кривая на графике является похожей и не противоречит классической кривой явления резонанса.

4.4 Апробация математической модели

Экспериментальным путем на лабораторном стенде установлен резонансный режим работы. Установлены параметры резонансного режима (расход гидронасоса, коэффициент жесткости РВД, масса КК стенда и т.д.), которые необходимы для проведения сравнительного анализа между математической моделью и реальным физическим экспериментом.

В результате реального физического эксперимента (исследования рабочего процесса устройства на ХХ при резонансном режиме) практически путем осуществлен подбор расхода гидронасоса ($Q_n = 0,00024 \text{ м}^3/\text{с}$), который обеспечивает резонансный режим работы ($f = 16,7 \text{ Гц}$). Максимальная амплитуда перемещения КК составляет 0,01 м (рис. 34), амплитуда скорости 1,01 м/с (рис. 35).

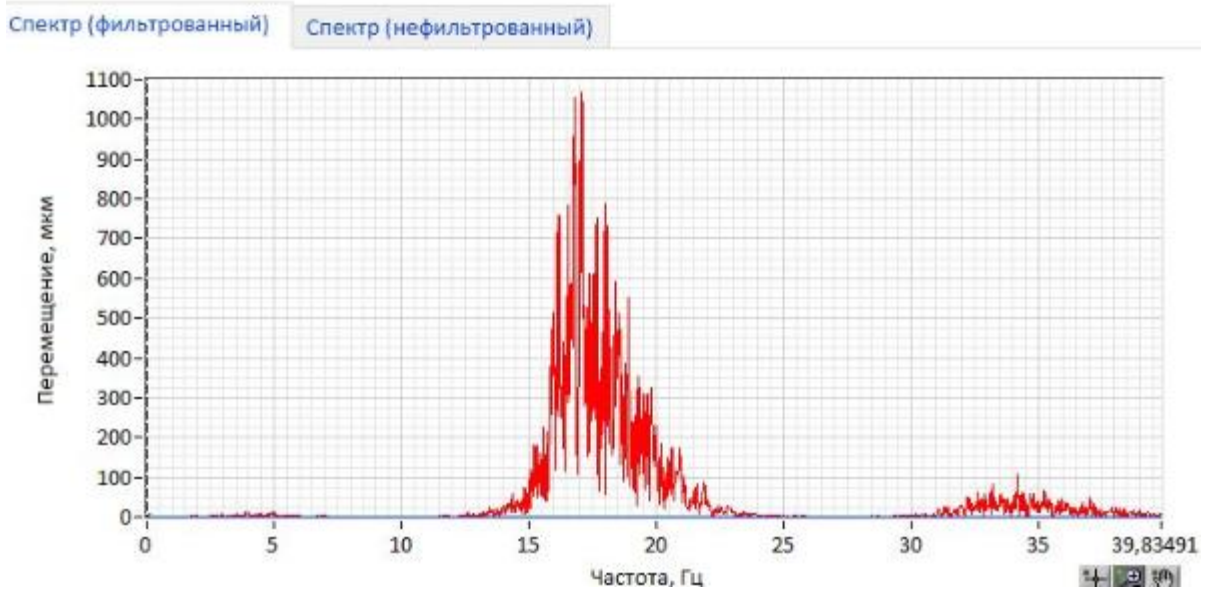
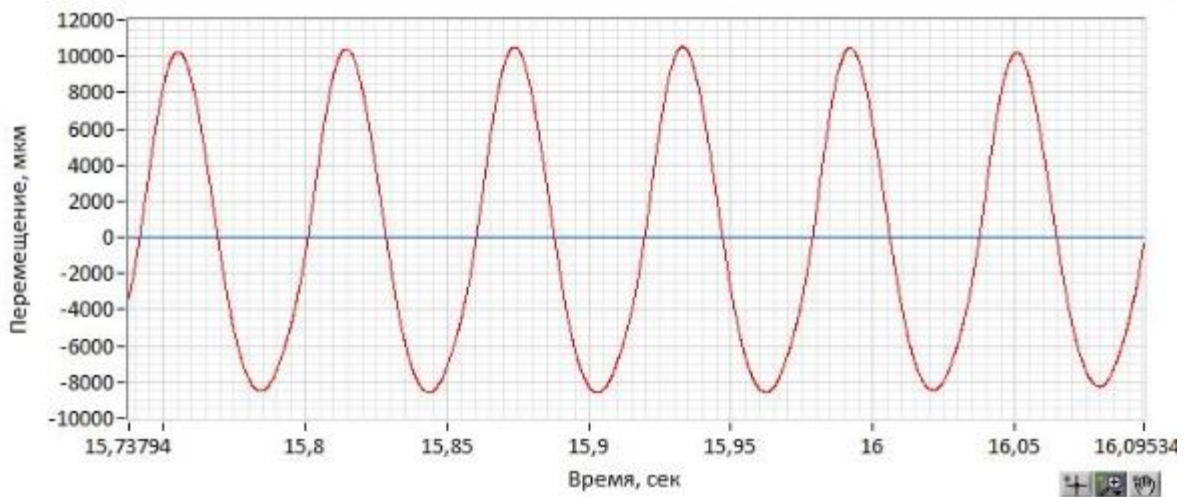


Рисунок 34 – Перемещение и спектр колебаний вибратора КК при резонансном режиме работы лабораторного стенда на XX

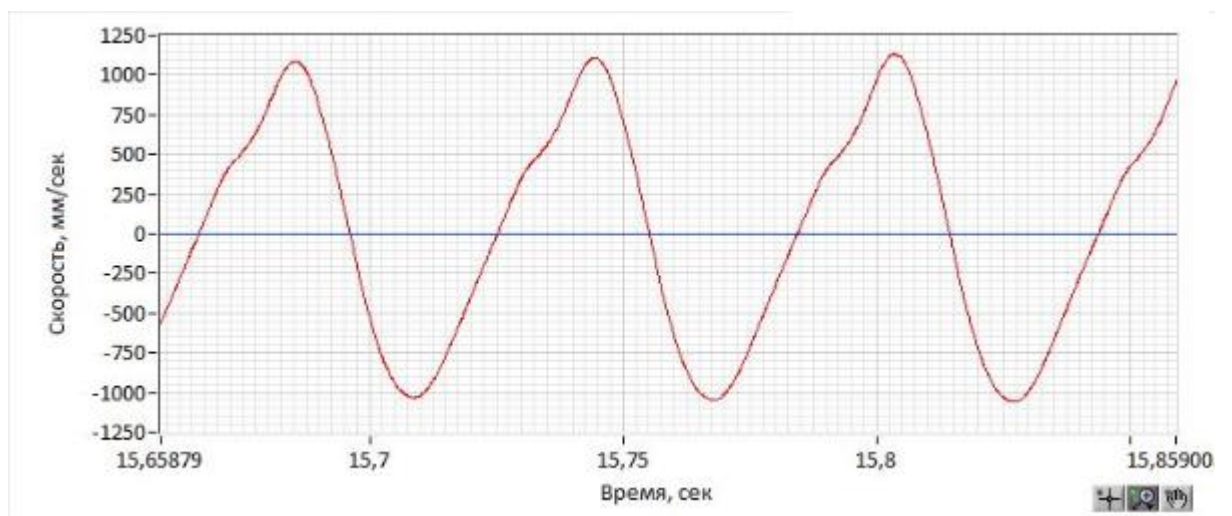


Рисунок 35 – Скорость КК при резонансном режиме работы лабораторного стенда на XX

После корректировки математической модели, построен график перемещения и скорости КК (рис. 36), а также спектр колебаний КК (рис. 37).

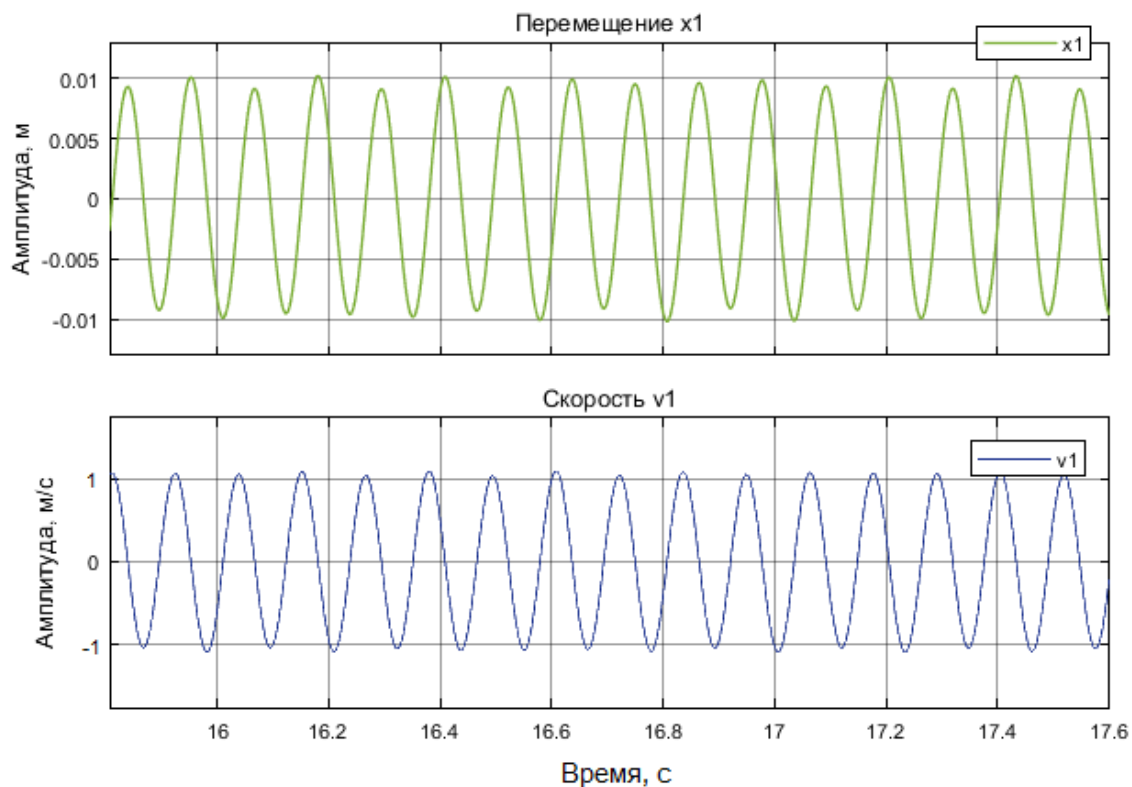


Рисунок 36 – Перемещение и скорость КК при резонансном режиме на XX устройства с параметрами от лабораторного стенда

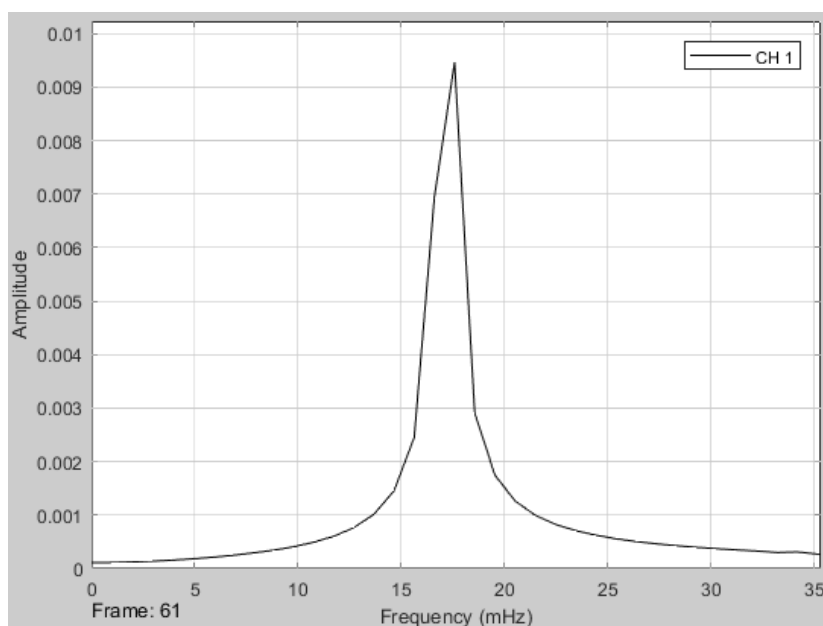


Рисунок 37 – Спектр колебаний вибратора КК при резонансном режиме на XX устройства с параметрами от лабораторного стенда

Амплитуда перемещения КК исходя из графика (рис. 36) составляет 9,6 мм, а амплитуда скорости 1 м/с. Разница между реальным экспериментом и моделированием составляет: перемещение 0 мм (0%); скорость 0,10 мм/с (1%); расход 0,00001 м³/с (4%); частота возбуждения вибратора 0,8 Гц (5%).

Разница между реальными и моделированными данными объясняется тем, что в работе все параметры математической модели являются константами, однако на практике они не являются таковыми.

Анализ графиков полученных при реальном эксперименте (рис. 34, 35) и при моделировании (рис. 36, 37) позволяет сделать выводы:

- математическая модель непротиворечива;
- математическая модель является корректной и адекватной;
- в первом приближении можно считать, что математическая модель апробирована;
- разница с лабораторным стендом не превышает 5%.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что полученная зависимость амплитуды перемещения КК от частоты возбуждения вибратора колебаний является не противоречивой, более того эксперименты в работе подтверждают что она корректная.

Выводы по главе

На основании представленных теоретических результатов исследования математической модели установлена зависимость амплитуды перемещения КК и ТС от коэффициента жесткости РВД, на основе которой автор рекомендует придерживаться коэффициента жесткости РВД в диапазоне от 1 до 5 МН/м.

Подводя итоги теоретических экспериментов, на предмет влияния частоты возбуждения вибратора от расхода гидронасоса получена зависимость, которая необходима для оптимизации режимов работы устройства.

В результате теоретических и эмпирических исследований, удалось получить зависимость амплитуды перемещения КК от частоты возбуждения

вибратора колебаний. Форма кривой (рис. 33) характеризует режим работы устройства в зависимости от толщины очищаемой наледи.

Результаты проведённого реального физического эксперимента на лабораторном стенде и результаты моделирования, построенные по скорректированным параметрам лабораторного стенда, позволяют сделать вывод о том, что математическая модель устройства для очистки дорожных покрытий от наледи является апробированной.

5. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

5.1 Общие сведения о научно-техническом исследовании

Целью магистерской диссертации является исследование динамических процессов работы устройства для очистки дорожных покрытий от наледи.

Результаты исследования являются актуальными для коммунального и дорожного машиностроения, они способствуют созданию и развитию отечественной дорожной техники, которая должна обеспечить безопасность и чистоту автомобильных дорог в зимний период времени.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- определение возможных альтернатив проведения научных исследований, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- планирование научно-исследовательских работ;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

5.2 Предпроектный анализ

Существует большое количество возможных альтернативных разработанных устройств для очистки дорожных покрытий от наледи (далее - устройство), однако практического применения находят только единицы. Это объясняется многими факторами: во-первых, высокая стоимость оборудования; во-вторых, малая их эффективность; в-третьих, большая энергоемкость. Главным недостатком устройств, которые применяются в настоящий момент, является низкое качество очистки дорожных покрытий от наледи.

Исследование динамических процессов проводилось на лабораторном

стенде, который имитирует устройство для очистки дорожных покрытий от наледи. Лабораторный стенд позволяет в полной мере реализовать процесс работы устройства в условиях научно – исследовательской лаборатории. Исследования были направлены на выявление оптимальных режимов работы устройства, которые повысят производительность, а также качество дорожных покрытий от наледи. Разработанное устройство с оригинальной комбинированной схемой позволяет решить недостатки имеющихся на практике подобных устройств. Устройство имеет относительно низкую цену, достаточно неплохую эффективность и малую энергоемкость.

5.2.1 Потенциальные потребители.

Для анализа потребителей необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование, которое в дальнейшем поможет найти области, где продвижение нового продукта будет наименее трудоемким. Целевым рынком являются российские дорожные компании, которые занимаются очисткой дорожных покрытий от наледи. Исследование будет интересно компаниям занимающимся уборкой и содержанием автомобильных дорог в зимний период времени. Для сравнения эффективности результатов исследования, необходимо провести сравнение снегоуборочной техники, компании "Stiga" и дорожной компании «Промавтомаш».

Таблица 5.1 – Карта сегментирования рынка

		Вид оборудования		
		Разработанное устройство	Устройство № 1	Устройство № 2
Дорожные компании	Крупные	+		
	Средние	+	+	+
	Мелкие	+	+	+

По карте сегментирования видно, что разработанное устройство является актуальным и впишется в российский рынок. Разработанное устройство представляет наибольший интерес для крупных дорожных компаний, а также и для небольших предприятий.

5.2.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

На рынке аналогом устройства являются разработки с применением режущих дисков вместо скальвующего колеса. Анализ конкурентов проводится с устройствами, исполнительный орган которых выполнен в виде режущих дисков (фрез).

Таблица 5.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _с	Б _{к1}	Б _{к2}	К _с	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Производительность устройства	10	9	6	6	90	60	60
2. Удобство в эксплуатации	8	8	6	5	70	55	50
3. Энергоэкономичность	6	4	5	4	24	30	24
4. Надежность	9	9	7	6	81	63	54
5. Уровень шума	7	7	4	5	49	28	35
6. Безопасность	8	8	4	3	64	32	24
7. Простота эксплуатации	7	7	6	6	49	30	42
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	10	10	8	7	100	80	70
2. Уровень проникновения на рынок	9	0	9	9	0	70	65
3. Цена	7	3	5	7	21	60	50
4. Предполагаемый срок эксплуатации	6	5	4	4	30	25	20
5. Послепродажное обслуживание	7	7	3	4	49	35	28
6. Срок выхода на рынок	6	0	6	6	0	36	36
Итого:	100	77	73	72	627	599	558

Разработанное устройство является конкурентоспособным, так как по многим показателям превосходит своих конкурентов (таб. 5.2). Главные достоинства: производительность, надежность, относительно низкая цена.

5.2.3 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Таблица 5.3 - Матрица SWOT

	Сильные стороны	Слабые стороны
	<p>С1. Новизна идеи научного исследования.</p> <p>С2. Достаточная надежность устройства.</p> <p>С3. Регулировка толщины скальвания наледи с дорожного покрытия.</p> <p>С4. Переналадка, возможность адаптации к различным скоростям.</p> <p>С5. Универсальность устройства.</p> <p>С6. Относительная дешевизна устройства.</p> <p>С7. Низкая энергоемкость устройства.</p> <p>С8. Простота эксплуатации.</p>	<p>Сл1. Продукт не продавался.</p> <p>Сл2. Трудоёмкость монтажа.</p> <p>Сл3. Увеличение габаритов.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Быстрое продвижение на рынок.</p> <p>В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт</p> <p>В3. Сотрудничество с рядом новых организаций.</p> <p>В4. Усовершенствование устройства</p>	<p>В1С1С2С3С4С6С7 – быстрое продвижение на рынок в связи с преимуществами данного устройства.</p> <p>В2С2С3С4С5- дополнительный спрос может появиться за счёт универсальности устройства.</p> <p>В3С1С6С8 - Сотрудничество с рядом новых организаций.</p> <p>В4С2С3 – усовершенствование устройства за счёт его переналадки и возможности адаптации к различной толщине скальвания наледи с дорожного покрытия.</p>	<p>В1Сл1 – может не быть быстрого продвижения на рынок так как ранее продукт не продавался, и потребители не знают о нем.</p> <p>В2 Сл2Сл3 – появление дополнительного спроса может быть мало из-за больших габаритов устройства.</p> <p>В3Сл1 - сотрудничество с рядом новых организаций может не быть, так как ранее устройство не продавалось, и потребители не знают о нем.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства.</p> <p>У2. Незаинтересованность потребителей в разработке</p> <p>У3. Конкуренция.</p> <p>У4. Кризис</p>	<p>У1С1С2С7 - устойчивость к борьбе с конкурентами за счет новизны идеи.</p> <p>У2С1С6С7С8 – возможность быстрого продвижения на рынок потребителей.</p> <p>У3С2С3С4С5 – возможность конкурировать в связи с хорошими показателями основных характеристик.</p>	<p>У1Сл1 – в связи с тем, что продукт не продавался, может быть, отсутствие спроса.</p> <p>У3Сл2Сл3 – из-за монтажа и больших габаритов могут возникнуть проблемы с продажей данного устройства.</p>

Таблица 5.4 – Интерактивная матрица проекта

		Сильные стороны проекта							
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
	B1	+	+	+	+	-	+	+	-
	B2	-	+	+	+	+	-	-	-
	B3	+	-	-	-	-	+	-	+
	B4	-	+	+	-	-	-	-	-

Таблица 5.5 – Интерактивная матрица проекта

		Слабые стороны проекта		
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	B1	+	-	-
	B2	-	+	+
	B3	+	-	-

Таблица 5.6 - Интерактивная матрица проекта

		Сильные стороны проекта							
Угрозы		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
	У1	+	+	-	-	-	-	+	-
	У2	+	-	-	-	-	+	+	+
	У3	-	+	+	+	+	-	-	-

Таблица 5.7 - Интерактивная матрица проекта

		Слабые стороны проекта		
Угрозы		Сл1	Сл2	Сл3
	У1	+	-	-
	У2	0	0	0
	У3	-	+	+

На основе результатов анализа матрицы можно сделать вывод, что трудности и проблемы, с которыми может столкнуться данный проект можно будет решить за счет имеющихся сильных сторон исследования.

5.3 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

Для определения возможных альтернатив проведения НИР необходимо провести морфологический анализ. При изготовлении устройства возможны два варианта исполнения. Эти варианты представлены в табл. 5.8.

Таблица 5.8 – Морфологический анализ

Наименование	Варианты	
	1	2
А. По виду удаления наледи с дорожного покрытия	Скалывание наледи	Срезание наледи
Б. По виду исполнительного элемента	Скалывающее колесо	Режущий диск

По данным занесенным в таблицу 5.8 можно выделить две принципиальные конструкции устройства: А1Б1 – исполнение 1; А2Б2 – исполнение 2.

5.4 Планирование научно-исследовательских работ

5.4.1 Структура работ в рамках научного исследования

Проект разбивается на этапы выполнения, для распределение задач с целью распределения заработной платы.

Таблица 5.9 – План научно – исследовательской работы

Основные этапы	№	Описание работы	Должность исполнителя
Постановка целей и задач	1	Постановка цели и задач, которые необходимо выполнить для достижения цели	Руководитель
Разработка технического задания	2	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	3	Проведение литературного обзора	Студент
Теоретические и экспериментальные исследования Разработка технологической документации	4	Составление принципиальной схемы	Студент
	5	Выполнение расчетов	Студент
	6	Построение 3D модели устройства	Студент
	7	Разработка математической модели устройства	Студент
	8	Исследование математической модели в программной среде	Студент
Оформление отчета	9	Оформление пояснительной записки по результатам исследования	Студент

Таблица 5.10 - Перечень работ и продолжительность их выполнения

Этапы работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
1	2	3
Постановка целей и задач	НР	НР – 100%
Разработка и утверждение ТЗ	НР, И	НР – 100% И – 10%
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	НР – 20% И – 100%
Разработка календарного плана	НР, И	НР – 100% И – 40%
Поиск и анализ аналогичных устройств	НР, И	НР – 20% И – 100%
Составление принципиальной схемы	НР, И	НР – 20% И – 100%
Построение 3D модели устройства	И	И – 100%

Создание математической модели устройства	И	И – 100%
Проведение исследований	НР, И	НР – 20% И – 100%
Оформление пояснительной записки	И	И – 100%
Подведение итогов	НР, И	НР – 60% И – 100%

Для выполнения перечисленных в таблице 5.10 работ требуются специалисты: инженер «И» (исполнитель ВКР); научный руководитель «НР».

5.4.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости:

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{min\ i} + 2t_{max\ i}}{5}, \quad (29)$$

где $t_{ож\ i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, чел.-дн.;

$t_{min\ i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{max\ i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях $T_{р}$, учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{р\ i} = \frac{t_{ож\ i}}{Ч_i}, \quad (30)$$

где $T_{р\ i}$ – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ож\ i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Таблица 5.11 - Ожидаемое время выполнения работы

Основные этапы	№ раб		$t_{ож}$, чел.-дн.
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	3,2
Выбор направления исследований	2	Изучение материалов по теме	9,8
	3	Проведение патентного обзора	3,8
Теоретические и экспериментальные исследования	4	Составление принципиальной схемы	3,2
	5	Выполнение расчетов	3,2
	6	Построение 3D модели устройства	7
	7	Создание математической модели устройства	9,8
	8	Исследование математической модели в программной среде	9,8
Оформление отчета	9	Заполнение пояснительной записки	4,6
Итого:			54,4

Расчет продолжительности одной работы не является необходимым, т.к. на каждой работе задействован один исполнитель, то есть $T_p = t_{ож}$.

Разработка графика проведения научного исследования строится в форме диаграммы Ганта. Для удобства построения, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней необходимо перевести в календарные дни.

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad (31)$$

где T_{ki} - продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{кал}$ - коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}}, \quad (32)$$

где $T_{кал}$ – количество календарных дней в году;

$T_{вых}$ – количество выходных дней в году;

$T_{пр}$ – количество праздничных дней в году.

Результаты расчетов приведены в табл. 5.7.

Таблица 5.12 - Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях, T_p	Длительность работ в календарных днях, T_k
	t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$			
Составление и утверждение ТЗ	2	5	3,2	Руководитель	3,2	5
Изучение материала по теме	7	14	9,8	Студент	9,8	15
Проведение литературного обзора	3	5	3,8	Студент	3,8	6
Составление принципиальной схемы	2	5	3,2	Студент	3,2	5
Выполнение расчетов	2	5	3,2	Студент	3,2	5
Построение 3D модели устройства	5	10	7	Студент	7	10
Создание математической модели устройства	7	14	9,8	Студент	9,8	15
Исследование математической модели в программной среде	7	14	9,8	Студент	9,8	15
Заполнение пояснительной записки	3	7	4,6	Студент	4,6	7

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 105 - 14} = 1,49$$

Таблица 5.13 - Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ работ	Вид работ	Исполнители	T_k	Продолжительность выполнения работ						
				Март	Апрель			Май		
				3	1	2	3	1	2	3
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	2							
2	Изучение материалов по теме	Студент	2							
3	Проведение патентного обзора	Студент	3							
4	Составление принципиальной	Студент	6							

	схемы								
5	Выполнение расчетов	Студент	6						
6	Построение 3D модели устройства	Студент	7						
7	Создание математической модели согласно ТЗ	Студент	7						
8	Исследование математической модели в программной среде	Студент	7						
11	Заполнение пояснительной записки	Студент	3						

5.4.3 Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi} , \quad (33)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Значения цен на материальные ресурсы могут быть установлены по данным, размещенным на соответствующих официальных сайтах в интернете предприятиями-изготовителями (либо организациями-поставщиками).

Величина коэффициента (k_T), отражающего соотношение затрат по доставке материальных ресурсов и цен на их приобретение, зависит от условий договоров поставки, видов материальных ресурсов, территориальной удаленности поставщиков и т.д. Транспортные расходы принимаются в

пределах 15-25% от стоимости материалов. Основные материальные затраты, необходимые для устройства, заносятся в таб. 5.14.

Таблица 5.14 - Материальные затраты

Наименование	Ед. изм.	Количество		Цена за ед., руб.		Затраты на материалы, руб.	
		Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2
Рама	шт.	1	1	12000	11500	12000	11500
Скальвающее колесо	шт.	1	1	3500	3200	3500	3200
Генератор колебаний	шт.	1	1	8600	8100	8600	8100
Гидромотор	шт.	1	1	7500	7500	7500	7500
Прокладки	шт.	4	4	100	80	400	320
Гидроцилиндр	шт.	1	1	12174	11000	12174	11000
Аккумулятор гидравлический	шт.	1	1	10890	10890	10890	10890
Дроссель	шт.	2	2	1968	1965	3936	3930
Сливной кран	шт.	1	1	300	300	300	300
Пружина	шт.	2	1	200	200	400	200
Рукав высокого давления	шт.	1	1	150	170	150	170
Предохранительный клапан	шт.	1	1	800	750	800	750
Масло	л	5	6	110	110	550	660
Итого расходы на материалы						61200	58520

5.4.4 Основная заработная плата исполнителей

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов. Расчет основной заработной платы сводится в табл. 5.15.

Таблица 5.15 - Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапа	Исполнители	Трудоемкость, чел.-дн, руб	Зарплата на один чел.-дн., тыс. руб.	Всего заработная плата по тарифу, тыс. руб.
1	Составление и утверждение ТЗ	Руководитель	3,2	1320	4224
2	Изучение материалов по теме	Студент	9,8	888	8702,4
3	Проведение литературного обзора	Студент	3,8	888	3374,4
4	Составление принципиальной схемы	Студент	3,2	888	2841,6
5	Построение расчётной схемы и математической модели	Студент	3,2	888	2841,6
6	Выполнение расчётов	Студент	7	888	6216
7	Исследование математической модели	Студент	9,8	888	8702,4
8	Заполнение пояснительной записки	Студент	4,6	888	4084,8

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (34)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата;

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $Z_{осн}$).

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (35)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.

$Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (36)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня $M=11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней $M=10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (табл. 5.16).

Таблица 5.16 - Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	105	105
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	48	48
- невыходы по болезням	-	-
Действительный годовой фонд рабочего времени	195	195

$$Z_{\text{дн1}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{24750 \cdot 10,4}{195} = 1320 \text{ руб.} - \text{заработная плата руководителя за 1 день};$$

$$Z_{\text{дн2}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{15460 \cdot 11,2}{195} = 888 \text{ руб.} - \text{заработная плата студента за 1 день.}$$

$$Z_{\text{осн1}} = 1320 \cdot 3,2 = 4224 \text{ руб.} - \text{руководитель};$$

$$Z_{\text{осн2}} = 888 \cdot 51 = 45288 \text{ руб.} - \text{студент.}$$

$$Z_{\text{зп1}} = 4224 + 844,8 = 5068,8 \text{ руб.} - \text{руководитель};$$

$$Z_{\text{зп2}} = 45288 + 9057,6 = 54345,6 \text{ руб.} - \text{студент.}$$

5.4.5 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных ТК РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций. Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} \quad (37)$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,15 – 0,2).

$$Z_{\text{доп1}} = 0,2 \cdot 4224 = 844,8 \text{ руб.} - \text{руководитель.}$$

$$Z_{\text{доп2}} = 0,2 \cdot 45288 = 9057,6 \text{ руб.} - \text{студент.}$$

5.4.6 Отчисления во внебюджетные фонды

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы, руб:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (38)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в табл. 5.17.

Таблица 5.17. Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	4224	844,8
Студент-дипломник	45288	9057,6
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	27,1%	27,1%
Итого	1373,65+14727,66=16101,31	

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 27,1\% \cdot (4224 + 844,8) = 1373,65 - \text{руководитель}$$

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 27,1\% \cdot (45288 + 9057,6) = 14727,66 - \text{студент}$$

5.4.7 Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями

Данные расходы включают затраты, связанные с выполнением каких-либо работ по теме сторонними организациями.

В проекте необходимо рассчитать контрагентные расходы. Под данные расходы попадают расходы на оплату труда токаря. В таблице 5.18 представлены данные оплаты труда токаря.

Таблица 5.18 – Контрагентные расходы

№ п/п	Профессия	Количество деталей	Количество работников	Разряд рабочего
1	Токарь	6	1	3

Для сборки устройства необходимо собрать 6 элементов. Заказ будет выполняться на другом заводе. Оклад токаря на другом заводе 7936 р. На выполнение работ отводится 2 дня. Подсчитаем зарплату токаря за 2 дня на другом заводе. Результаты расчетов представлены в таблице 5.19. Заработная плата рассчитывается по методике из разд. 3.4.3., отчисления во внебюджетные фонды по методике 3.4.5.

Таблица 5.19 - Оплата труда сторонних исполнителей

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.
Токарь	1090
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	327
Отчисления во внебюджетные фонды	1417

$$Z_{\text{дн}} = \frac{7936 \cdot 11,2}{195} = 455 \text{ руб}$$

$$Z_{\text{осн}} = 455 \cdot 2 = 910 \text{ руб}$$

$$Z_{\text{зп}} = 910 + 180 = 1090 \text{ руб}$$

$$Z_{\text{внеб}} = 30\% \cdot 1090 = 327 \text{ руб}$$

5.4.8 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 7) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (39)$$

$k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Коэффициент накладных расходов принимаем в размере 16%.

5.4.9 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат НИР является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции. Определение бюджета затрат на НИР по каждому варианту исполнения приведен в табл. 5.20.

Таблица 5.20 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.		Примечание
	Исп.1	Исп.2	
1. Материальные затраты НИИ	61200	58520	Пункт 5.4.4
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	49512	49512	Пункт 5.4.5
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	9902,4	9902,4	Пункт 5.4.6
4. Отчисления во внебюджетные фонды	16101,31	16101,31	Пункт 5.4.7
5. Контрагентские расходы	1417	1417	Пункт 5.4.8
6. Накладные расходы	22101,23	21672,43	16 % от суммы ст. 1-5
7. Бюджет затрат НИИ	160233,9	157125,1	Сумма ст. 1- 6

5.5 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат двух вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета, с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (40)$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}1} = \frac{157125,1}{160233,9} = 0,98$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}2} = \frac{157125,1}{157125,1} = 1$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (41)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (табл. 5.21).

Таблица 5.21 - Сравнительная оценка вариантов исполнения

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2
1. Производительность	0,3	4	5
2. Долговечность в использовании	0,3	5	5
3. Регулировка	0,1	5	5
4. Переналадка	0,15	5	5
5. Надежность	0,15	5	5
ИТОГО	1	4,7	4,85

$$I_{p-исп1} = 4 \cdot 0,3 + 5 \cdot 0,3 + 5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,15 = 4,7$$

$$I_{p-исп2} = 5 \cdot 0,3 + 5 \cdot 0,3 + 5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,15 = 4,85$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{исп.i}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.i} = \frac{I_{p-исп.i}}{I_{финр.i}}; \quad (42)$$

$$I_{исп.1} = \frac{4,7}{0,98} = 4,76$$

$$I_{исп.2} = \frac{4,85}{1} = 4,85$$

Сравнение интегрального показателя эффективности, вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (см. табл.5.22) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта (\mathcal{E}_{cp}):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} \quad (43)$$

Таблица 5.22 - Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,98	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,7	4,85
3	Интегральный показатель эффективности	4,76	4,85
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	Исп1/Исп2=0,99	Исп2/Исп1=1,02

Из таблицы 5.22 видно, что наиболее эффективный вариант решения поставленной в магистерской работе технической задачи по многим показателям является исполнение 2.

5.6 Выводы по главе

В процессе выполнения раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» был определен целевой рынок, для разработанного устройства. Проведен анализ конкурентов, из которого следует, что проектируемое устройство конкурентоспособное. Рассчитаны материальные затраты на изготовление данного устройства, затраты на основную и дополнительную зарплату, отчисления во внебюджетные фонды, контрагентные расходы, накладные расходы, на основании которых составлен бюджет затрат на НИИ. Произведена сравнительная характеристика эффективности разработки на основании интегрального показателя эффективности. По результатам таблицы 5.22 можно сделать вывод о наибольшей эффективности второго исполнения устройства.

6. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

В данном разделе диссертации рассматриваются вопросы выполнения требований к безопасности труда, промышленной безопасности, охране окружающей среды и ресурсосбережению. Объект исследования: устройство для очистки дорожных покрытий от наледи. Область применения: транспортное и коммунальное машиностроение.

Возможными пользователями разрабатываемого устройства являются коммунальные компании, которые занимаются очисткой автомобильных дорог и тротуаров от наледи в зимний период времени.

Повышение уровня колебаний на рабочем месте человека-оператора обусловлено увеличением рабочих и транспортных скоростей машинно-тракторных агрегатов (рабочих машин). Увеличение массы рабочих машин (РМ) привело к снижению их собственной частоты колебания, которая стала соизмерима с собственной частотой колебания наиболее важных органов человека. Поэтому одним из условий, обеспечивающих комфортность на рабочем месте оператора, является применение оптимальных режимов работы КК устройства.

Таким образом, исследование динамики устройства позволит оптимизировать режимы работы РМ с навешенным устройством. Следовательно, результаты исследования позволят значительно увеличить комфортность операторов РМ, при этом ряд заболеваний уменьшится.

6.1 Производственная безопасность

6.1.1 Анализ вредных факторов при эксплуатации объекта исследования

В процессе работы устройства могут возникнуть физические опасные и вредные производственные факторы. Физические опасные и вредные производственные факторы:

- повышенный уровень шума и вибрации на рабочем месте;
- недостаточная освещенность рабочей зоны;
- отклонение показателей микроклимата от нормы;

- подвижные и вращающиеся части КК устройства РМ;
- электрический ток РМ.

Таблица 6.1. Опасные и вредные факторы оператора РМ

Источник фактора	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1) Колебания вибратора в устройстве. 2) Двигатель при работе РМ.	1. Повышенный уровень шума и вибрации на рабочем месте; 2. Недостаточная освещенность рабочей зоны; 3. Отклонение показателей микроклимата от нормы	1. Подвижные и вращающиеся части КК устройства; 2. Электрический ток РМ.	1. Параметры уровня шума и вибрации устанавливаются: СН 2.2.4/2.1.8.562-96 [7]; ГОСТ 12.1.003-83 (ССБТ) [8]; ГОСТ 31319-2006 [9]. 2. Параметры освещенности устанавливаются: ГОСТ 12.2.002 – 91 [14], СП 52.13330.2016 [15]. 3. Параметры микроклимата устанавливаются СП [16]. 4. Параметры электрического тока устанавливаются ГОСТ ИЕС 61140-2012 [16].

6.1.2 Анализ выявленных вредных факторов

1. Повышенный уровень шума и вибрации на рабочем месте.

Во время работы устройства, уровень шума и вибрации зависит от различных факторов: неисправные элементы устройства, неправильная геометрия скалывающего инструмента. К повышенному уровню шума и вибрации приводят неисправности: несвоевременная замена расходных материалов, несвоевременная смазка подвижных частей КК, неправильная заточка скалывающего инструмента.

Организм человека по-разному реагирует на шум разного уровня. Шум создает значительную нагрузку на нервную систему человека, оказывая на него психологическое воздействие, способен увеличивать содержание в крови гормонов стресса даже во время сна. Уровни громкости шума (дБ):

1. Нормальный уровень шума: до 50-55 дБ.
2. Повышенный уровень шума: 55-70 дБ.
3. Вредный уровень шума: 80-95 дБ.
4. Опасный уровень шума: более 95 дБ.
5. При 120 дБ человек получает акустическую травму.
6. При более 140 дБ человек получает разрыв барабанной перепонки.

Шумы уровня 80-95 дБ при длительном воздействии приводят к заболеванию нервной системы, а более 100 дБ к снижению слуха, вплоть до глухоты. Повышенный шум приводит к психологическому дискомфорту работника, вызывает поражение органов слуха.

Максимально предельно допустимый уровень звукового давления для рабочей зоны оператора РМ составляет не более 107 дБ.

В работе применяются коллективные методы защиты оператора от действия уровня шума и вибрации на организм человека. Коллективные методы защиты: - уменьшение уровня шума РМ оператора в источнике его возникновения (вибратор); - рациональное размещение специального оборудования устройства; - оптимальные режимы работы скалывания; - борьба с шумом на путях его распространения.

Для уменьшения шума необходимо своевременно проводить ремонт вибратора, производить заточку скалывающего инструмента, использовать принудительное смазывание трущихся поверхностей, применять балансировку вращающихся частей. В разработанном устройстве уменьшение шума происходит из-за оптимизации его режимов работы.

При изучении действия вибраций на тело человека принято выделять общую вибрацию всего тела и локальную. Во время работы устройства на оператора действуют оба типа вибрации, которые необходимо гасить при

помощи специальных демпферов либо виброзащитных подложек [8]. Воздействие вибрации вызывает у человека изменение физиологического и функционального состояния организма человека. Изменения в функциональном состоянии организма проявляются в повышении утомляемости, увеличении времени двигательной и зрительной реакции, нарушении вестибулярных реакций и координации движений. Все это ведет к снижению производительности труда. Изменения в физиологическом состоянии организма приводят: к развитию нервных заболеваний, нарушению функций сердечно сосудистой системы, нарушению функций опорно-двигательного аппарата, поражению мышечных тканей и суставов, нарушению функций органов внутренней секреции. Все это приводит к возникновению вибрационной болезни [9].

Допустимые значения вибрационной нагрузки на оператора РМ приведены в документах [10, 7]. Общая вибрационная нагрузка на оператора (смена 8 часов) не должна превышать более 115 дБ (виброускорение).

Методы защиты от вибрации: - балансировка вращающихся частей РМ; - увеличение массы РМ; - применение материалов с большим внутренним трением. Индивидуальные средства защиты: виброзащитная обувь, перчатки со специальными упруго-демпфирующими элементами.

Оптимальные режимы работы устройства получены решением динамической модели, которая показала снижение вибрации в 10 раз.

Вредность вибрации усугубляется одновременным воздействием на оператора пониженной температуры воздуха на рабочем месте.

1. Недостаточная освещенность рабочей зоны. Недостаточное освещение влияет на функционирование зрительного аппарата, то есть определяет зрительную работоспособность, на психику человека, его эмоциональное состояние, вызывает усталость центральной нервной системы, возникающей в результате прилагаемых усилий для опознания четких или сомнительных сигналов.

Установлено, что свет, помимо обеспечения зрительного восприятия, воздействует на нервную оптико-вегетативную систему, систему формирования иммунной защиты, рост и развитие организма и влияет на многие основные процессы жизнедеятельности, регулируя обмен веществ и устойчивость к воздействию неблагоприятных факторов окружающей среды. Работая при освещении плохого качества или низких уровней, люди могут ощущать усталость глаз и переутомление, что приводит к снижению работоспособности. Таким образом, становится, очевидно, что неправильное освещение представляет значительную угрозу для здоровья работников.

Освещение рабочего места оператора большое значение. Задачи организации освещённости рабочих мест следующие: уменьшение напряжения и утомляемости органов зрения.

Освещение должно быть равномерным и устойчивым, иметь правильное направление светового потока, исключать слепящее действие света и образование резких теней. Особенно важно обеспечить искусственное освещение оператора РМ и фронта работ перед ним.

Допустимые значения освещённости рабочих зон РМ нормируется стандартом, а освещённость площадок для очистки дорожных покрытий от наледи документом. Освещённость передней рабочей зоны РМ при ширине 2 метра должна быть не менее 30 люкс на расстоянии 14 метров от оператора и не менее 10 люкс на расстоянии 20 метров. Передняя зона должна хорошо освещаться на ширине 14 метров, а задняя - 8 метров. На РМ применяются две системы освещения - транспортная и рабочая. Рабочие органы РМ в поле зрения должны иметь освещённость не менее 20 люкс, а освещаемая площадка в передней зоне обзора шириной, равной захвату рабочего органа, - 15 люкс. Освещённость на уровне пульта управления должна быть не менее 5 люкс. Освещённость рабочих поверхностей в местах проведения работ вне зданий должна составлять от 2 до 50 люкс, а площадок и дорог от 3 до 0,5 люкс. Показатели для улиц и дорог городских поселений с регулярным транспортным

движением должны иметь среднюю освещенность дорожного покрытия не менее 20 люкс.

Защита оператора РМ от недостаточной освещенности. В кабине оператора присутствует два типа освещения: искусственное и естественное. Естественное освещение достигается путем установки в кабину оператора окон с коэффициентом естественного освещения КЕО не ниже 4%.

Искусственное освещение достигается путем установки в РМ специальных внешних и внутренних световых приборов. Подробные описания установки световых приборов, их количества, цвета, углов видимости РМ в работе не приводятся. Они приведены в ГОСТ 8769-75.

Для защиты от ультрафиолетового излучения применяются в кабине РМ специальные водительские стекла со светофильтрами, которые не пропускают ультрафиолетовое излучение. Конструкция РМ предусматривает установку в кабину противосолнечные козырьки. Имеется возможность подключения переносной лампы. В качестве средств индивидуальной защиты применяются светозащитные очки. Для защиты кожи применяется защитная одежда, перчатки, специальные кремы.

2. Отклонение показателей микроклимата от нормы. Микроклимат рабочей зоны оператора определяется действующими на организм человека показателями: температуры, влажности и скорости движения воздуха. Микроклимат оказывает огромное влияние на состояние организма человека в целом, на его здоровье, самочувствие и работоспособность.

Температура на рабочем месте оператора – самый важный показатель комфортности. Низкие температуры провоцируют отдачу тепла организмом человека, тем самым снижая его защитные функции. Если в кабине РМ оператора установлена некачественная отопительная система, то оператор будет постоянно страдать от переохлаждений, подвергаться частым простудам, инфекционным заболеваниям и т.д.

Недостаточная влажность, в свою очередь, может негативно отражаться на организме, становясь причиной пересыхания и растрескивания кожи и

слизистой, а также последующего заражения болезнетворными микроорганизмами. Длительное воздействие высокой температуры при повышенной влажности может привести к гипертермии или накоплению теплоты и перегреву организма, а пониженные показатели температуры, особенно при повышенной влажности воздуха, могут быть причиной гипотермии или переохлаждения.

Оптимальные показатели микроклимата в кабине оператора приведены в таблице 6.2, допустимые показатели в таблице 6.3.

Таблица 6.2 – Оптимальные показатели микроклимата в кабине оператора

Сезон года	Тип автомобилей	Температура воздуха, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с, не более
Холодный	Грузовые	18-20	60–40	0,2
Теплый		21-23	60–40	0,3

Таблица 6.3 – Допустимые показатели микроклимата в кабине оператора

Сезон года	Тип автомобилей	Температура воздуха, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с, не более
Холодный	Грузовые	17-23	75	0,2
Теплый		21-30	55–75	0,2-0,5

В условиях неблагоприятного микроклимата нарушение в функционировании этих систем может сопровождаться ухудшением здоровья и самочувствия, и усугубляется воздействием на организм других вредных факторов: шума, вибраций, освещенности. Для операторов, занятых работой под открытым небом, неблагоприятное воздействие пониженной температуры усугубляется ветром.

Воздействие холода на оператора в течение рабочей смены приводит не только к простудным заболеваниям, но и нарушает координацию и способность выполнять точные операции, вызывает тормозные процессы в коре головного мозга, способствует развитию патологий, которые могут проявляться в виде полинейропатии конечностей, периферического ангиодистонического синдрома конечностей. Возможны и обморожения.

Для защиты операторов, занятых работой под открытым небом необходимо исключить воздействие холода или свести его к минимуму.

Порядок защиты работников в зимнее время включает в себя использования зимней спецодежды и обуви, наличия перерывов для обогрева и отдыха.

Для нормализации показателей микроклимата в кабине применяются средства защиты: отопление и вентиляция, кондиционирование воздуха.

Индивидуальные средства защиты: специальная одежда и обувь, средства защиты органов дыхания, рук, головы, лица, органа слуха, глаз.

К средствам защиты органов дыхания операторов относятся: противогазы; респираторы; ватно-марлевые повязки. К средствам защиты кожи относятся: защитные комплекты; комбинезоны и костюмы, изготовленные из специальной прорезиненной ткани; накидки; резиновые сапоги и перчатки. Контроль влажности в кабине оператора осуществляется автоматически увлажнителями воздуха. Оптимальную температуру воздуха в кабине можно поддерживать с помощью автоматического кондиционера.

6.1.3 Анализ выявленных опасных факторов при эксплуатации устройства

1) Подвижные и вращающиеся части устройства. Источником является генератор колебаний. Производственный опасный физический фактор. Оказывает влияние на человека при его контакте с движущимися или вращающимися частями КК устройства. При непосредственном контакте оператора с подвижными частями КК, происходят телесные повреждения у человека, а в некоторых случаях смертельная травма.

Для защиты подвижных и вращающихся частей КК устройства применяют предохранительные устройства и защитные кожухи. Они должны иметь прочную жесткую конструкцию и установочную базу для крепления к оборудованию, и при их установке не должна снижаться освещенность рабочего места, увеличиваться шум и вибрация оборудования, затрудняться наблюдение за работой скалывающего инструмента.

2) Электрический ток РМ. Поражение электрическим током (ЭТ) происходит, когда человеческий организм вступает в контакт с источником напряжения. Источником напряжения является генератор постоянного тока РМ.

Коснувшись проводника, который находится под напряжением, человек становится частью электросети, по которой начинает протекать ЭТ, проходя через тело человека, оказывает на него сложное воздействие, являющееся совокупностью термического, электролитического и биологического воздействий. Наиболее сложным является биологическое воздействие, свойственное только живым организмам. Любое из этих воздействий может привести к электрической травме, т. е. к повреждению организма, вызванному воздействием ЭТ. Минимальная величина тока, которую способен почувствовать человек составляет 1 мА.

При повышении тока более 1 мА человек начинает чувствовать себя некомфортно, возникают болезненные сокращения мышц, при увеличении тока до 12-15 мА возникает судорожное сокращение мышц, контролировать свою мышечную систему человек уже не в состоянии и собственными силами не может разорвать контакт с источником тока. Действие ЭТ более 25 мА приводит к параличу мышц органов дыхания, в результате чего человек может просто-напросто задохнуться. Увеличение тока приводит к фибрилляции сердца [20]. Главным показателем электрооборудования РМ является напряжение генератора. Оптимальное значение номинального напряжения генератора РМ равно 28 Вольт.

Допускаемое отклонение от номинального значения напряжения генератора или генераторных установок не должны превышать 2 %. Таким образом, допускаемое напряжение 27,44 – 28,56 Вольт.

Для защиты от поражения ЭТ необходимо устанавливать на РМ технические средства защиты: защитное заземление; электрическое разделение сети; защитное отключение. Необходимо соблюдать рекомендации: использовать малое напряжение; производить изоляцию токоведущих частей; недоступность к ЭТ; знаки безопасности.

Поломка устройства. Если на металлических частях РМ обнаружено: напряжение, оборудование гудит в случае появления вибраций или повышенного уровня шума, нагревание или плавление корпуса, искрение

электрооборудования, обрыв питающего кабеля, необходимо остановить работу РМ, доложить о случившемся непосредственному руководителю. Без указаний руководителя к работе приступать запрещено.

6.2 Экологическая безопасность

При исследовании воздействия устройства на окружающую среду было выявлено, что основным источником загрязнения атмосферы и литосферы является пролив масла в случае выхода из строя РВД, что способно оказывать негативное влияние на здоровье человека и окружающую природную среду.

6.2.1 Анализ воздействия объекта на атмосферу

Разработанное устройство в процессе работы не оказывает влияния на атмосферу. Однако при испарении смазывающей жидкости в процессе трения или хранения выделяются незначительные синтетические масла с повышенным содержанием полихлора-дифениламина (ПХД). Данное химическое соединение, попадая в атмосферу, образует еще более токсичные соединения – полихлордибензодиоксины и полихлордибензофураны. Основными загрязнителями атмосферы являются химические вещества. Помимо ПХД при испарении в атмосферу попадает незначительная часть серы, а также пары тяжелых металлов, которые распространяются по воздуху, вступая в химические реакции с другими элементами, тем самым создают не высокую угрозу для живых организмов.

Для защиты атмосферы от испарения смазывающей жидкости существует два способа. Первый основан на разработки смазывающих компонентов, которые не содержат ПХД, либо их содержание мало.

Второй способ заключается в установки специальной герметической конструкции, которая не позволяет распространяться химической реакции в атмосфере. Таким образом, все химические реакции происходят внутри специальной конструкции, что даже позволяет использовать смазывающую жидкость повторно.

6.2.2 Анализ воздействия объекта на литосферу

Наличие скапливающейся использованной смазочной жидкости в процессе работы устройства, может привести к попаданию её на поверхность земли, что негативно скажется на литосфере.

Для защиты литосферы необходимо улавливание масла в случае, если произойдет дефект РВД в процессе работы вибратора. В целях предотвращения попадания вредных веществ в литосферу необходимо создание специальных сливных отверстий с общим баком, при наполнении которого, масло будет отправляться в утилизацию.

6.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

6.3.1 Анализ возможных ЧС, которые может инициировать объект исследования

При эксплуатации устройства, возможны следующие ЧС: возникновение пожара, возникновение транспортной аварии. Возгорание устройства практически невозможно, так как оно исключает возможность инициирования ЧС. Однако возгорание РМ возможно в некоторых случаях. Источником пожара является утечка топлива в топливной системе, а также замыкание электропроводки.

6.3.2 Анализ наиболее типичной ЧС

При эксплуатации устройства вероятной ЧС является возможность пожара и поражение человека электрическим током. Основная причина возникновения пожара - короткое замыкание электропроводки РМ. Другие причины возникновения пожара РМ: несоблюдение правил эксплуатации устройства, разряды статического электричества и утечка топлива.

Для защиты и уменьшения вреда жизни и здоровью населения, материального ущерба, наносимого пожаром необходимо выполнять комплекс профилактических мероприятий, направленных на предупреждение и (или) устранение пожара.

Разработка превентивных мер по предупреждению ЧС. К пожарно-

профилактическим мероприятиям относятся: - выбор качественного электрооборудования; - систематический надзор за выполнением правил технической эксплуатации устройства; - регулярная проверка знаний противопожарной безопасности; - пожарно-техническая проверка; - проверка наличия и исправности первичных средств пожаротушения; - прохождение противопожарного инструктажа.

В случае обнаружения признаков возгорания или возникновения пожара немедленно сообщить об этом в пожарную службу, а также принять меры по ликвидации пожара с помощью первичных средств пожаротушения.

Разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. Порядок действия в случае возникновения ЧС в РМ. В случае неисправности устройства или аварии необходимо её устранить и сообщить в соответствующие службы. В работе по предупреждению пожаров большая роль принадлежит механику транспортного участка, который проводит целый комплекс мероприятий по противопожарной защите транспорта, выявляет имеющиеся недостатки и принимает меры к их своевременному устранению в соответствии с ФЗ от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 13.07.2015) "Техническим регламентом о требованиях пожарной безопасности". В соответствии с правилами разработанное устройство, относится к наименее опасной категории (Д) с пониженной пожароопасностью. Так как оно не имеет горючих веществ и все рабочие узлы, и материалы находятся в относительно холодном состоянии.

6.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Специальные правовые нормы трудового законодательства. При осуществлении трудовой деятельности между работником и работодателем заключается трудовой договор (ТД), в котором прописываются обязанности сторон, ответственность, а также права работника. Документом, определяющим трудовые отношения между работником и работодателем, регулирующим вопросы охраны труда, закрепляющим правила оплаты и нормирования труда,

порядок разрешения трудовых споров является трудовой кодекс. В течение рабочего времени водитель РМ должен исполнять свои трудовые обязанности в соответствии с условиями ТД, правилами внутреннего трудового распорядка организации и графиком работы. Нормальная продолжительность рабочего времени водителей не может превышать 40 часов в неделю. Для водителей, работающих по календарю пятидневной рабочей недели с двумя выходными днями, нормальная продолжительность ежедневной работы не может превышать 8 часов, а для работающих по календарю шестидневной рабочей недели с одним выходным днем - 7 часов. При суммированном учете рабочего времени продолжительность ежедневной работы водителей не может превышать 10 часов.

Рабочее время водителя состоит из следующих периодов: а) время управления РМ; б) время специальных перерывов для отдыха от управления РМ; в) подготовительно-заключительное время перед выездом на линию; г) время проведения медицинского осмотра водителя перед выездом на линию; д) время стоянки в пунктах погрузки и разгрузки грузов; е) время простоев не по вине водителя; ж) время проведения работ по устранению возникших в течение работы неисправностей обслуживаемой РМ.

Применение сверхурочных работ допускается в случаях и порядке, предусмотренных статьей 99 ТК РФ. Сверхурочные работы не должны превышать для каждого водителя четырех часов в течение двух дней подряд и 120 часов в год. Водителям предоставляется перерыв для отдыха и питания продолжительностью не более двух часов, как правило, в середине рабочей смены. Работа водителей в нерабочие праздничные дни допускается в случаях, предусмотренных статьей 112 ТК РФ. При суммированном учете рабочего времени работа в праздничные дни, установленные для водителя графиком работы (сменности) как рабочие, включается в норму рабочего времени учетного периода.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе выполнения выпускной квалификационной работы был выполнен информационно-аналитический обзор методов и устройств применяемых для очистки дорожных покрытий от наледи. Рассмотрены и изучены различные технические решения, на которых будет основываться новая разработка автора, приведены их достоинства и недостатки. На основе анализа механических устройств для очистки дорожных покрытий от наледи, автором разработана их классификация.

Выделено перспективное направление для дальнейшего изучения комбинированных и ударно-вибрационных устройств, так как они обладают малой энергозатратностью и хорошей эффективностью процесса скалывания наледи с дорожного покрытия.

На основе анализа механических устройств для очистки дорожной наледи предложена конструкция, а также разработана принципиальная схема и блок-схема устройства для очистки дорожных покрытий от наледи. В соответствии с блок-схемой составлена расчетная схема и математическая модель динамического взаимодействия КК и ТС. В соответствии с принципиальной схемой, блок-схемой а также расчетной схемы разработана комплексная структурная схема с учетом гидравлического привода. Получено решение математической модели.

Проведено теоретическое исследование работы устройства при различных режимах на ХХ и под нагрузкой.

Модернизирован и доработан лабораторный стенд имитирующий устройство для очистки дорожных покрытий от наледи. Проведен реальный эксперимент на лабораторном стенде при резонансном режиме, который подобран экспериментальным путем.

Апробирована математическая модель устройства для очистки дорожных покрытий от наледи с учетом технических возможностей стенда.

В процессе теоретических и практических экспериментов установлена зависимость амплитуды перемещения КК и ТС от коэффициента жесткости РВД. Также получена зависимость частоты возбуждения вибратора колебаний от расхода объемного гидронасоса, которая необходима для оптимизации режимов работы устройства.

В результате теоретического и эмпирического исследования разработана зависимость амплитуды перемещения КК от частоты возбуждения вибратора колебаний. Форма кривой характеризует режим работы устройства в зависимости от толщины очищаемой наледи.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Официальный сайт Госавтоинспекции [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gibdd.ru>.
2. Каменецкий Б.И., Кошкин И.Г. Автомобильные дороги: Учебник для учащихся автотрансп. техникумов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1979, – 144 с.
3. Морозов Р.В. Классификация способов борьбы со снежно-ледяными отложениями // Журнал Мир науки. – 2014. – № 4. – С. 29-35.
4. Михайлов С.Н. Борьба с зимней скользкостью на автомобильных дорогах // Актуальные направления научных исследований: перспективы развития : материалы IV Междунар. науч.–практ. конф. (Чебоксары, 10 дек. 2017 г.). В 2 т. Т. 1 / редкол.: О.Н. Широков [и др.] – Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс», 2017. – С. 305-306. – ISBN 978-5-6040397-1-7.
5. Павловская С.С. Обзор существующих средств оценки состояния дорожного покрытия после применения реагентов и способов борьбы с зимней скользкостью // III международная научная конференция "Актуальные вопросы технических наук". Пермь, 2015 г. – С. 125-128.
6. Устройство для скалывания льда. А.с. 1183598 СССР № 3573807/29-11; заявл. 21.02.1983; опубл. 07.10.1985, Бюл. № 37 – 2 с.
7. Машина для уборки снежно-ледяных образований. А.с. 933862 СССР № 3005060/29-11; заявл. 15.10.1980; опубл. 07.06.1982, Бюл. № 21 – 4 с.
8. Машина для уборки снега и льда. А.с. 969809 СССР № 2944758/29-11; заявл. 23.06.1980; опубл. 30.10.1982, Бюл. № 40 – 1 с.
9. Рабочее оборудование бульдозера: пат. 2374396 Рос. Федерация № 2008100340/03; заявл. 09.01.2008; опубл. 27.11.2009, Бюл. № 33. – 7 с.
10. Устройство для рыхления и удаления частиц грунта, снега и льда с дорожных покрытий: пат. 2321705 Рос. Федерация № 2006129617/03; заявл. 15.08.2006; опубл. 10.04.2008, Бюл. № 10. – 5 с.
11. Рабочий орган. А.с. 937625 СССР № 2992396/29-03; заявл. 10.10.1980; опубл. 23.06.1982, Бюл. № 23 – 3 с.

12. Рабочий орган бульдозера. А.с. 775242 СССР № 2697933/29-03; заявл. 02.11.1978; опубл. 30.10.1980, Бюл. № 40 – 3 с.
13. Рабочий орган бульдозера. А.с. 844698 СССР № 27654953/29-03; заявл. 17.04.1979; опубл. 07.07.1981, Бюл. № 25 – 3 с.
14. Устройство для очистки дорожных покрытий от льда и уплотнённого снега. А.с. 1234504 СССР № 3798594/29-11; заявл. 08.10.1984; опубл. 30.05.1986, Бюл. № 20 – 3 с.
15. Рабочий орган машины для удаления снежно-ледяных образований с дорожного покрытия. А.с. 1189930 СССР № 3594868/29-11; заявл. 23.05.1983; опубл. 07.11.1985, Бюл. № 41 – 4 с.
16. Рабочий орган снегоборочной машины. А.с. 1219707 СССР № 3834683/29-11; заявл. 02.01.1985; опубл. 23.03.1986, Бюл. № 11 – 3 с.
17. Устройство для скалывания снежно-ледяной корки: пат. 2465394 Рос. Федерация № 2011107740/13, заявл. 28.02.2011, опубл. 27.10.2012, Бюл. № 30. – 7 с.
18. Универсальное устройство для очистки дорожного покрытия от грунтовых наносов, мусора и наледи: пат. 2125135 Рос. Федерация № 95116920/28; заявл. 04.10.1995; опубл. 20.01.1999, Бюл. № 2. – 2 с.
19. Навесное оборудование для очистки дорожных покрытий от льда и уплотненного снега. А.с. 126511 СССР № 626079/29; заявл. 23.04.1959; опубл. 01.01.1960, Бюл. № 5 – 3 с.
20. Рабочий орган роторного снегоочистителя. А.с. 623916 СССР № 2429117/29-11; заявл. 09.12.1976; опубл. 15.09.1978, Бюл. № 34 – 4 с.
21. Рабочий орган для скалывания льдообразований: пат. 86197 Рос. Федерация № 2009116416/22; заявл. 29.04.2009; опубл. 27.08.2009, Бюл. № 24. – 2 с.
22. Устройство для очистки поверхности от льда, уплотненного снега и обработки грунта: пат. 2267575 Рос. Федерация № 2000120123/11; заявл. 27.07.2000; опубл. 10.01.2006, Бюл. № 1. – 8 с.

23. Способ скалывания льда и уплотненного снега и устройство для его осуществления: пат. 2195527 Рос. Федерация № 2001119712/28; заявл. 16.07.2001; опубл. 27.12.2002, Бюл. № 36. – 3 с.

24. Устройство для скалывания льда и уплотненного снега: пат. 2100524 Рос. Федерация № 5018185/28; заявл. 26.12.1991; опубл. 27.12.1997, Бюл. № 36. – 5 с.

25. Устройство для скалывания льда и уплотненного снега: пат. 71346 Рос. Федерация № 2007140105/22; заявл. 29.10.2007; опубл. 10.03.2008, Бюл. № 7. – 2 с.

26. Устройство для обработки снежно-ледяного наката на дорожной поверхности. А.с. 1245646 СССР № 3858561/29-11; заявл. 25.02.1985; опубл. 23.07.1986, Бюл. № 27 – 2 с.

27. Рабочий орган для удаления льда и уплотненного снега с дорожных покрытий: пат. 2398928 Рос. Федерация № 2009124250/11; заявл. 24.06.2009; опубл. 10.09.2010, Бюл. № 25. – 7 с.

28. Очиститель гололеда: пат. 2493318 Рос. Федерация № 2011149312/13; заявл. 02.12.2011; опубл. 10.06.2013, Бюл. № 16. – 6 с.

29. Устройство для обработки поверхности дорожных покрытий: пат. 2530916 Рос. Федерация № 2013108528/13; заявл. 26.02.2013; опубл. 20.10.2014, Бюл. № 29. – 8 с.

30. Рабочий орган для уборки снега. А.с. 1518427 СССР № 4361262/30-11; заявл. 08.01.1988; опубл. 30.10.1989, Бюл. № 40 – 3 с.

31. Скалыватель уплотненного снега и льда с дорожных покрытий. А.с. 1418388 СССР № 4193540/31-11; заявл. 11.02.1987; опубл. 23.08.1988, Бюл. № 31 – 3 с.

32. Устройство для скалывания льда: пат. 121265 Рос. Федерация № 2012125872/13; заявл. 20.06.2012, опубл. 20.10.2012, Бюл. № 29. – 2 с.

33. Рабочий орган машины для скалывания льда: пат. 2265104 Рос. Федерация № 2004112109/11; заявл. 20.04.2004, опубл. 27.11.2005, Бюл. № 33. – 3 с.

34. Лёдоскальывающая машина . А.с. 1204667 А СССР № 3764174/29-11; заявл. 03.07.1984; опубл. 15.01.1986, Бюл. № 2 – 2 с.
35. Рабочий орган машины для скальывания льда: пат. 2452811 Рос. Федерация № 2011100941/13; заявл. 12.01.2011, опубл. 10.06.2012, Бюл. № 16. – 6 с.
36. Рабочий орган скальывателя уплотненного снега и льда с дорожных покрытий. А.с. 1532643 А1 СССР № 4405020/31-11; заявл. 08.04.1988; опубл. 30.12.1989, Бюл. № 48 – 3 с.
37. Устройство для скальывания льда и уплотненного снега: пат. 106261 Рос. Федерация № 2011107464/21; заявл. 25.02.2011, опубл. 10.07.2011, Бюл. № 19. – 2 с.
38. Мини-машина для скальывания наледи: пат. 2582369 Рос. Федерация № 2015103848/13; заявл. 05.02.2015, опубл. 27.04.2016, Бюл. № 12. – 5 с.
39. Способ удаления отложений, преимущественно льда, с очищаемой поверхности обшивки и устройство для его осуществления: пат. 2096269 Рос. Федерация № 4671256/11; заявл. 13.04.1989, опубл. 20.11.1997, Бюл. № 32. – 2 с.
40. Устройство для скальывания льда и уплотненного снега: пат. 2143028 Рос. Федерация № 97120667/28; заявл. 11.12.1997; опубл. 20.12.1999, Бюл. № 33. – 5 с.
41. Скальыватель наледи с тротуаров: пат. 2200219 Рос. Федерация № 2001107275/28; заявл. 11.12.1997; опубл. 21.03.2001, Бюл. № 7. – 2 с.
42. Рабочий орган для удаления снежно-ледяных образований с дорожных покрытий. А.с. 1217976 А СССР № 3793253/29-11; заявл. 26.09.1984; опубл. 15.03.1986, Бюл. № 10 – 2 с.
43. Козырев А.Н., Гаврилин А.Н., Мойзес Б.Б., Иванов С.Е. // Устройство для очистки дорожных покрытий от наледи // XXIX Международная конференция «Машиноведение и инновации. Конференция молодых учёных и студентов» (МИКМУС - 2017): материалы конференции (Москва, 6-8 декабря 2017 года)/М: Изд-во ИМАШ РАН, 2018 – 483 с.

44. Пановко Я.Г. Основы прикладной теории колебаний и удара. Изд. 3-е, доп. и переработ. Л., «Машиностроение» (Ленингр. отд-ние), 1976. 320 с.
45. Пановко Я.Г. Введение в теорию механических колебаний. Изд. 3-е, переработ. – М.: Наука, 1991. -255 с.
46. Вибрации в технике: Справочник. В 6 т. / В. Н. Челомей и др. – М.: Машиностроение, 1979–Т. 4. Колебания нелинейных механических систем. / Под ред. И: И: Блехмана. 1979. 351 с.
47. Alifov A.A. Method of the direct linearization of mixed nonlinearities. Journal of Machinery Manufacture and Reliability (2017) Т. 46. № 2. pp. 128-131.
48. Немчинов, М.В. Обоснование, нормирование и расчёт параметров текстуры поверхности дорожных покрытий: автореферат диссертации на соискание учёной степени доктора технических наук // Московский ордена Трудового Красного Знамени автомобильно-дорожный институт. Москва, 1989.
49. Вибрации в технике: Справочник. В 6 т.: / Гл. ред. В. Н. Челомей. – М.: Машиностроение, 1978–Т. 3. Колебания машин, конструкций и их элементов. 544 с.
50. Воскресенский, Г.Г. Научные основы проектирования рабочего оборудования для разрушения уплотненного снега на автомобильных дорогах: автореферат диссертации на соискание учёной степени доктора технических наук // ГОУВПО Тихоокеанский государственный университет. Хабаровск, 2011.
51. Вибрация шельфовых сооружений при действии льда. Салганик Е.А., Шхинек К.Н. Инженерно-строительный журнал. 2014. № 4 (48). С. 72-88.
52. Шишмарев К.А., Хабахпашева Т.И., Коробкин А.А., Движение нагрузки по ледовому покрову канала. Полярная механика. Дальневосточный федеральный университет (Владивосток) EISSN: 2500-35422016.
53. Гаврилин, А.Н. Управляемый кинематический генератор колебаний с объемным гидравлическим приводом: автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук // Томский ордена Октябрьской

Революции и ордена Трудового Красного Знамени политехнический институт им. С.М. Кирова. Томск, 1990.

54. Вульфсон И.И. Динамика цикловых машин.– СПб.: Политехника. 2013. – 425 с.

55. Вульфсон, И.И. К проблеме динамической взаимозависимости электродвигателя и механического привода цикловых машин / И.И Вульфсон // Журнал Теория механизмов и машин. – 2016. – Т.14. – № 4(32). – С. 173–181.

56. Гаврилин, А.Н. Особенности динамических характеристик кинематического генератора при инерционном характере нагрузки на его гидропривод / А.Н. Гаврилин, П.Я. Крауиныщ, А.В. Шакирова // Сборник трудов 9 - международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Современные техника и технологии», Томск, 2003 г.

57. . Vulfson, I.I. Dynamics of cyclic machines. (Expanded edition of the monograph [9] translation). – Heidelberg, New York, Dordrecht, London: Springer, 2015. – 410 p.

58. Программа для ЭВМ «Виброрегистратор-Ф»: свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ 2014661189 Рос. Федерация № 2014618793; дата регистрации 20.11.2014 г.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

1. Козырев А.Н., Гаврилин А.Н., Иванов С.Е., Мойзес Б.Б., Кувшинов К.А. // Обзор устройств гашения вибрации узлов металлорежущих станков. Ресурсоэффективные системы в управлении и контроле: взгляд в будущее: сборник научных трудов VI Международной конференции школьников, студентов, аспирантов, молодых ученых / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2017. – 208 с.

2. Иванов С.Е., Козырев А.Н., Гаврилин А.Н., Кувшинов К.А., Мойзес Б.Б. // Повышение точности фрезерной обработки и стойкости инструмента путём снижения ударно-вибрационных нагрузок в технологической системе. Ресурсоэффективные системы в управлении и контроле: взгляд в будущее: сборник научных трудов VI Международной конференции школьников, студентов, аспирантов, молодых ученых / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2017. – 208 с.

3. Беспалов Д.В., Козырев А.Н., Гаврилин А.Н., Иванов С.Е., Мойзес Б.Б. // Уменьшение вибрации на роторе за счет применения автобалансирующего устройств. Ресурсоэффективные системы в управлении и контроле: взгляд в будущее: сборник научных трудов VI Международной конференции школьников, студентов, аспирантов, молодых ученых / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2017. – 208 с.

4. Козырев А.Н., Гаврилин А.Н., Мойзес Б.Б., Иванов С.Е. // Устройство для очистки дорожных покрытий от наледи // XXIX МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «МАШИНОВЕДЕНИЕ И ИННОВАЦИИ. КОНФЕРЕНЦИЯ МОЛОДЫХ УЧЁНЫХ И СТУДЕНТОВ» (МИКМУС - 2017): материалы конференции (Москва, 6-8 декабря 2017 года)/М: Изд-во ИМАШ РАН, 2018 – 483 с.

5. С.Е. Иванов, А.Н. Гаврилин, А.Н. Козырев, Б.Б. Мойзес // Повышение эффективности фрезерной обработки путём снижения ударно-вибрационных нагрузок. ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 1, 2018 (УДК 62-531.7) С 77-81.

6. Беспалов Д.В., Сотников Н.Н., Гаврилин А.Н., Иванов С.Е., Козырев А.Н. // Фотограмметрия как инструмент реверс-инжиниринга // Молодежь и современные информационные технологии. Сборник трудов XV Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и современные информационные технологии», г. Томск, 04-07 декабря 2017 г. — 2018 — Томск: Д-Принт. - 407 с [С. 159-160].

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

Раздел Английская часть

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8НМ61	Козырев Александр Николаевич		

Консультант ИШНПТ, отделение материаловедения

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Гаврилин Алексей Николаевич	к.т.н.		

Консультант – лингвист ИШБИП, отделение иностранных языков

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Степура Светлана Николаевна	к.ф.н.		

1. INFORMATION AND ANALYTICAL REVIEW

The following part of the master's thesis examines the problems tied up with the cars and pedestrians' traffic safety in the winter period and the ways to solve them.

The purpose of this part is to conduct a complex analysis of the technical solutions for the ice crust removal from the road pavement.

The tasks of the review are:

- the search for the information sources and the material preparation on the master's thesis;
- the analysis and the classification of the prepared information;
- the conclusion on the relevance of the graduation subject matter.

The road pavement roughness has an important impact on the cars and pedestrians' traffic safety in the winter period. Due to the icing or the ice crust on the road pavement, the friction coefficient between the car wheels (tires) and the road decreases sharply (0.08 – 0.12). The coefficient of adhesion between the tires and the road pavement is one of the important parameters of the pedestrians and cars' traffic. It influences the cars' traffic safety as well as the pedestrians' one. The negative temperature of the road pavement causes the emergence of the slipperiness.

As a result, the security conditions of the cars and pedestrians' traffic are broken. It is especially relevant for the longitudinal slopes (over 40 – 50 %) and for the crooked highways with a small radius [2].

It is possible to increase the adhesion coefficient of the tires by the change of the road pavement roughness or the tires' parameters.

The change of the road pavement roughness is the most rational because the tires have the specified parameters and it is difficult to change them during the movement of the car. On the contrary, the parameter of the road pavement roughness is non-constant and depends to a large extent on the climate conditions.

The following scientists studied the influence of different aspects of the road pavement on the cars' traffic safety: V.A. Astrov, M.V. Borovoj, L.B. Gezentsvej,

V.F. Babkov, M.A. Parshin, A.P. Vasil'ev, N.V. Gorelyshev, V.P. Zaluga, V.M. Yumashev, M.S. Zamakhaev, B.M. Kosarev, N. Kul'muradov, I.A. Orekhov, Y.V. Kuznetsov, E.A. Chudakov, V.V. Sil'nov, A.N. Zelenin, V.I. Balovnev, A.N. Rudakov, P.A. Pospelov, M.V. Nemchinov, V.B. Utkin, E.V. Volkova, V.A. Shapkin, A.R. Purtov, Sh.M. Merdanov, G.G. Voskresenskij, and other Russian researchers.

The following researchers studied the similar issues abroad: V. Yandell, B.A. Brown, Allbert, A. Shallamah, D. Bulgin, M.V. Dudkin, S.N. Fadeev, S.Y. Pichugin, and other authors.

1.1 Review and classification of the methods of the ice crust removal from the road pavement

Further, the work presents an extended classification of the known methods of the ice crust removal from the road pavement. The classification supplemented by the author contains the following methods:

1) Frictional method. The abrasive or friction materials application on the road pavement surface. It is very widespread on the road pavement in Sweden, Finland, and Russia, due to the low cost of the materials. The main material of the frictional method is sand or stone crumb. During the use of this method, the most frequently used friction materials are the following: marble crumb, granite, rock screenings, etc. The advantage of the method is the possibility to use it on the sidewalks, in the pedestrian areas, city parks as well as on the dangerous parts of the highways where it is impossible to use other methods. The method can be used at the temperatures below -20°C [3 – 5].

Disadvantages: the effect of the frictional method does not remain for a long time, especially on the steep slopes or climbs; high material consumption on the dangerous parts of the highways; atmospheric pollution (dust emissions into the environment during the use of sand).

The main disadvantage of the method is the insufficient fixation of the friction material on the road pavement. There is a small increase in the coefficient of

adhesion between the tires and the road pavement, due to a large increase in the sand consumption [3].

2) Mechanical method. The road pavement cleaning through the loosening, destruction, and separation of the ice crust. The ice removal is performed by a chipping or cutting tool, or manually. This method can provide a necessary roughness of the ice crust providing the safe cars and pedestrians' traffic. The main advantage of the method is the complete ecological safety and the absence of any harm to the environment. Another advantage of the method is the use reliability at the temperature -20° C. The disadvantage of the method is the destruction of the road pavement upper layer because it is difficult to control the thickness of the chipped or cut layer of the ice crust [3 – 4].

3) Chemical method. Prevention of emergence of the winter slipperiness due to the use of the special chemical admixtures (reagents). The method is based on the action of the special reagents distributing on the road pavement and reacting with the ice crust, which leads to the formation of the salt solution having the freezing temperature lower than the water's one. Chemical method is not efficient at the low temperatures because the salt solution freezes. Nowadays, the method is the most common in a range of countries: in the USA, Russia, and Canada. Liquid reagents are used as well as solid ones. Liquid reagents start acting immediately, almost after the distribution, while solid reagents can melt and penetrate the massive ice crust cover; then, they dissolve and form a thin membrane, which breaks the link between the ice crust and the road pavement. In practice, the combined reagents having the extended possibilities of a reagent (time and temperature) are used [3].

4) Thermal method. Depending on the type of the road pavement heating, it can be conductive and convective. Conductive heating is performed from beneath the road pavement. Convective heating includes the ice crust melting on the road pavement surface. In practice, the thermal effect (convective) method is realized with the thermal and wind machines using the gas-jet method of the ice crust removal. The work of the aircraft engine established on the machine forms the high-temperature airflow with the directional effect, which breaks the ice crust. It is impossible to use

such machines to remove the ice crust from the road pavement on the public highways [3, 5].

Disadvantages: a very high cost, relatively low efficiency, the harmful effect of the high temperatures on the road pavement.

5) The method of infrared processing. It is based on the ability of the ice crust to transmit the infrared waves that heat the road pavement surface breaking the link between the ice crust and the surface. Then, the ice crust is removed by the mechanical method. The disadvantage of this method is a very low efficiency level during the use on the non-transparent ice crust. The method did not become widespread on the highways because it requires a very high level of energy consumption. Mostly, it is used on the aircrafts to deal with the ice crust appearing on the fuselage and wings [3].

6) Microwave radiation method. Its working principle is similar to the working principle of the previous method (infrared processing). The main disadvantage of the method is the following: the microwaves break the bonds of the asphalt concrete pavement, which leads to its destruction in the future. Therefore, the method is not used on the highways and pedestrian roads. However, the research of the microwaves for the ice crust removal is continuing [3].

7) Combined method. It is a result of the use of several described above methods in a single one. For example, the most common method is the chemical-frictional method – mixing of the friction materials and chemical deicing materials (reagents). The thermal-mechanical method is the ice crust heating with its further mechanical removal [3 – 5].

Figure 1 shows the results of the described above methods of the ice crust removal from the road pavement.

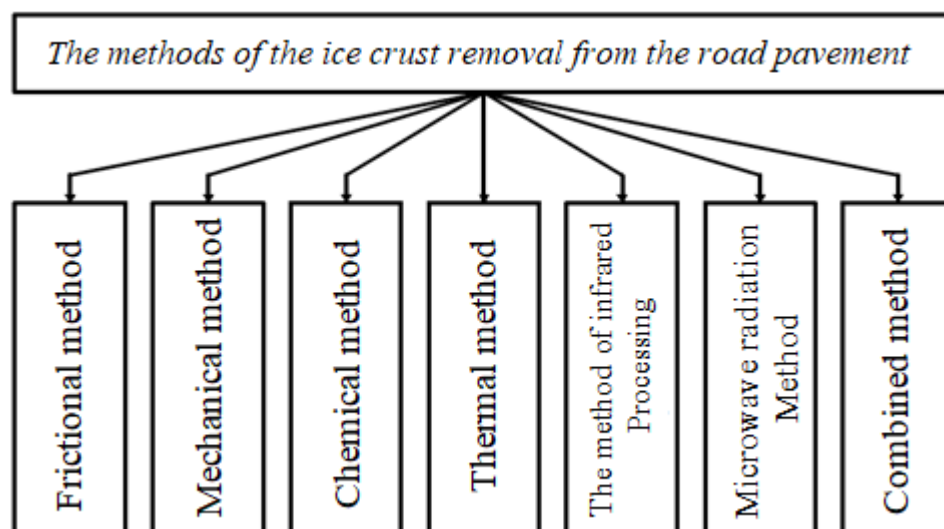


Fig. 1 – Classification of the methods of the ice crust removal from the road pavement

The most rational but difficult-to-reach method for ensuring safety against the formation of winter slipperiness is the complete cleaning of the road surface from ice [2].

The mechanical method has high efficiency and requires lower energy consumption; it is an environmentally friendly, relatively reliable at the low temperatures, and economically rational method. This method attracts the largest number of scientists and researchers by the variety of its technical solutions.

1.2 The classification and review of the mechanical devices for the ice crust removal from the road pavement

The analysis of the technical solutions of the working elements (WE) used on the machines and devices for the ice crust removal from the road pavement showed that there are five main types of the different device constructions:

1) The static action devices. The ice crust is broken due to the constant pressure on the cutting tool of the working element influencing the ice crust surface on the road pavement; in another case, the ice crust is broken due to the slow rise of the single pressure on the cutting tool of the WE [6 – 13].

According to the construction type, the static action devices can be rotational

and rectilinear.

A rotational device is a device that moves rotationally (rolls) on the road pavement during the movement of the transport vehicle (TV). The sharp ends of the prongs penetrate the ice crust due to the gravity force of the WE or the loader. The cutting tool of this group of devices is a road roller with the metal edges and the removable cutting prongs [6].

A rectilinear device is a device that moves rectilinearly and pushes into the ice crust on the road pavement during the movement of the TV. The knife penetrates the ice crust due to the gravity force of the WE. After the knife penetration, the ice crust moves (the set of the dragging prism takes place). The cutting tool of this group of devices is the knife of the bulldozers, motor graders, and sweeping machines [7 – 14].

The most interesting technical solution is the device containing the road roller attached to the TV with the removable cutting prongs fixed on its generatrix (Fig. 2).

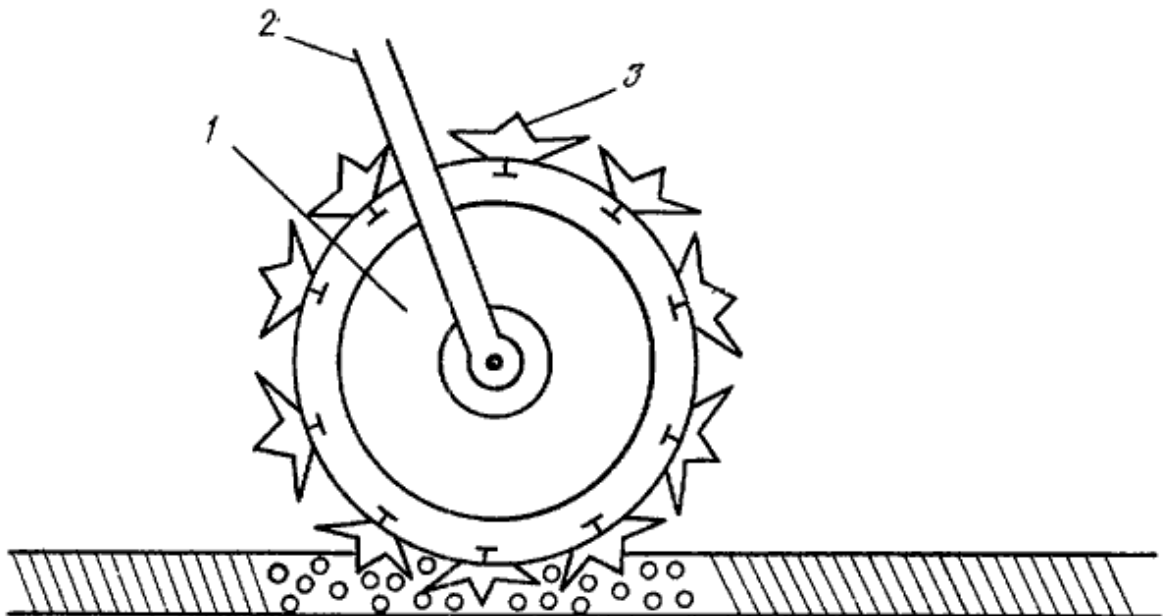


Fig. 2 – The rotational static action device for the ice crust removal from the road pavement

The device (Fig. 2) works in the following way. During the movement of the TV, the road roller 1 rolls on the road pavement. When the prongs 3 contact with the road pavement, the elements are unclenched due to the gravity force of the road roller

1 as well as the loader. The unclenching leads to the penetration of the sharp ends of the prongs 3 into the ice crust, to its destruction, and the movement of the chip. When the contact with the road pavement finishes, the prongs 3 return to the original state due to the elasticity of the elements 4 and 5. If the road roller 1 is polyhedral, the force of the kinetic energy store is added to the gravity force, which increases the efficiency of the ice crust removal.

The advantages of this device:

- the universal use of the car chassis with this device;
- small size of the device (the length is not over 2 meters);
- the possibility to use the device on the sidewalks because of the small size;
- the simplicity and low cost of the construction.

The disadvantages of this device:

- the low efficiency of the ice crust removal;
- the low chipping ability of the device;
- the pressure on the ice crust is insufficient for its complete chipping and the cutting of the surface at the micro level;
- the insufficient quality of the cleaned surface;
- the insufficient roughness of the road pavement after the processing;
- a large number of the uncleaned areas;
- it is impossible to work in the area covered with a thick layer of the ice crust;
- it is impossible to regulate the chipping depth;
- the harm to the road pavement.

2) Milling devices. The devices affecting the ice crust on the road pavement by the milling cutters, screws or brushes. A cutting tool (a milling cutter, a screw or a brush) always moves rotationally. As a rule, the transport vehicle (TV) moves progressively in the direction perpendicular to the rotation axis of the tool (a milling cutter, a screw or a brush) [14 – 28].

The milling devices can be divided into two types: the devices with the ability to change the depth of the processed ice crust and the devices without this ability.

The milling devices that provide the change of the depth of the processed ice crust have a regulatory mechanism [14, 15, 17, 19]. The regulatory mechanism let change the processed depth of the ice crust that can change by a certain amount in relation to the TV. The milling devices that are not able to change the depth of the processed ice crust are usually attached to the TV tightly; therefore, the depth depends directly on the relief of the road pavement and cannot change in relation to the TV [16, 21].

According to the method of the road pavement protection from the harm, the milling devices are divided into two types: the devices with a safety mechanism and the devices without it.

The milling devices with the safety mechanism providing the protection of the asphalt concrete pavement from the harm have a copying mechanism that controls the relief and the irregularities of the road pavement; this mechanism is directly connected to the mechanism regulating the thickness of the processed ice crust. In practice, the devices with the copying mechanism are used rather seldom; however, this mechanism lets protect the road pavement during the ice crust processing [14, 17].

According to the location of the drive shafts, the milling devices can be divided into three main groups: horizontal, sloping, and vertical devices.

The horizontal milling devices are the devices with the cutting tool's rotation axis parallel to the road pavement surface [14 – 21]. The cutting tools of the WE of this group: disk milling cutters equipped with the prongs or the cutting plates; disk brushes strengthened with lint; screws; sometimes the cylindrical milling cutters are used.

The sloping milling devices are the devices with the cutting tool's rotation axis at an angle to the road pavement surface [22 – 26]. The cutting tools of the WE of this group: cutting disks, disk milling cutters equipped with the prongs.

The vertical milling devices are the devices with the cutting tool's rotation axis

perpendicular to the road pavement surface [27 – 28]. The cutting tools of the WE of this group: face, end, and disk milling cutters equipped with the prongs, face brushes strengthened with lint. The most interesting technical solution of the different groups of the milling devices is the device (Fig. 3) containing the base chassis having a frame with the WE fixed on it; the WE consists of the drive disks established on the horizontal shaft and having the cutting plates fixed on them tightly. The device is equipped with the double-breasted plows and with the copying mechanism established by stands on the frame behind the WE and able to be moved in the vertical direction by the hydraulic cylinder [14].

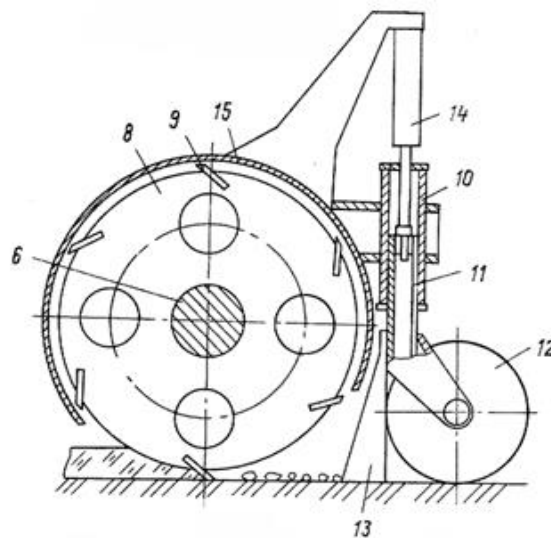


Fig. 3 – The horizontal device for the ice crust removal from the road pavement

The device (Fig. 3) works in the following way. Firstly, the base chassis is established on the road pavement part that should be cleaned from the ice crust. The rotary drive that rotates the shaft 6 with the disks 8 is switched on, and the frame goes down by means of the hydraulic cylinders until the cutting plates 9 touch the ice crust. The cutting plates 9 cut the ice crust and the WE, under the action of their weight, go deeply into the ice crust until they touch the road pavement, while the base chassis 1 moves forward at low speed. Simultaneously, the stands 11 with the copying mechanism 12 and the cleaning plows 13 go down by means of the hydraulic cylinders. The cleaning plows 13 move the chipped ice crust, while the copying rollers 12 move on the cleaned surface. If the cutting plates 9 become a little blunter, it is possible to regulate the movement of the rods of the hydraulic cylinders 14

through the lowering of the device on the clean horizontal plane. In order to protect the people from the ice crust chips, the device is equipped with the protective cover 15.

The advantages of this device:

- the universal use of the car chassis with this device;
- the presence of the safety mechanism protecting the asphalt from the harm;
- the sufficient efficiency of the chipping process;
- the device has a higher efficiency than a static action device has;
- the possibility to regulate the chipping depth;
- the rational configuration of the device.

The disadvantages of this device:

- the complicated production of the construction;
- large size of the device;
- high energy consumption level during the ice crust removal;
- the insufficient quality of the cleaned surface;
- the presence of the uncleaned areas;
- emergency situations are possible during the work of the device;
- it is impossible to use the device on the sidewalks because of the large width of the device.

3) The percussive action devices. The ice crust is broken by the impact of a percussive tool on the ice crust surface on the road pavement. According to the kinematics type, the WE can be divided into the working elements with the progressive movement and with the rotary movement [29 – 35].

According to the location of the axis of the percussive tool, the progressive percussive action devices for the ice crust removal from the road pavement can be divided into two groups: straight and sloping. The straight devices' tool has the axis perpendicular to the road pavement surface. The sloping devices' tool has the axis located at an angle to the road pavement surface.

The straight devices of the progressive percussive action have the following percussive tools: removable cutting tips, wedge knives [29].

The sloping devices of the progressive percussive action have the following percussive tools: scrapers, chipping hammers [30 – 32].

The rotary percussive action device for the ice crust removal from the road pavement has the following percussive tools: hammers, chains [33 – 35].

The most interesting technical solution for the percussive action devices is the device [34] containing the wheel tractor unit, the WE with the rotary hammers, established on the frame having the support wheels and connected to the tractor unit by the hinges (Fig. 4).

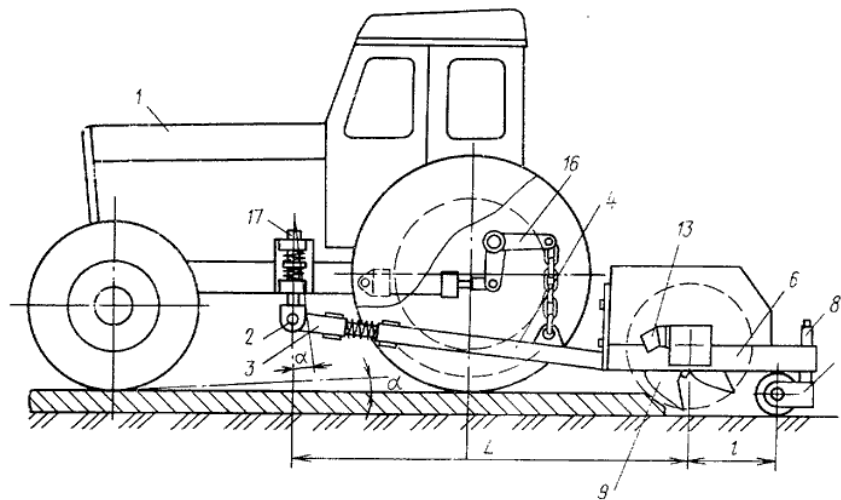


Fig. 4 – The rotary percussive action device for the ice crust removal from the road pavement

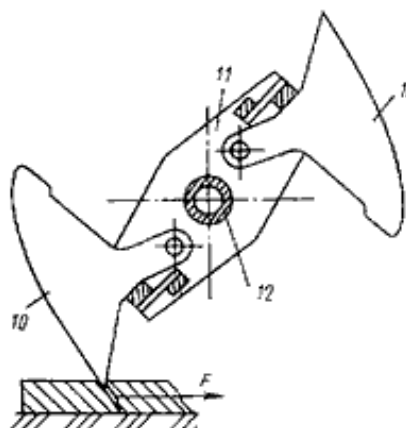


Fig. 5 – The working element of the rotary percussive action device for the ice crust removal from the road pavement

The device (Fig. 4 – 5) works in the following way. After the installation of the percussive action rotary device on the ice crust massif and the regulation of the guaranteed gap between the hammers' blades 10 and the road surface by means of the screws 8 of the support wheels 7, the drive of the WE is switched on and the TV moves in the direction indicated by the arrow (Fig. 5). The rotating hammers, influenced by the centrifugal forces, take the extreme positions in relation to the drive shaft 12 and penetrate the ice crust in this position. When the hammer 10 impacts the ice crust, it transmits the impact force impulse. Meanwhile, a part of the energy in the form of the reactive component is transmitted to the WE's frame 6 that moves in the direction of the movement and compresses the spring. When the TV's back wheel 1 touches an irregularity, the axis of the hinge 2 moves at an angle α equal to the angle of the rise of the TV's back wheel 1 in relation to the front wheel. Taking into account the fact that the hinge 2 of the traction frame 3 is located at the equal distance from the wheel axes of the chassis, the rise of the hinge 2 is proportionally lower than the rise height of the back wheel. The ratio between the distance L and the distance l is equal to $5 \dots 6$, which contributes to it as well. The spring 17 reduces the vibrations.

The advantages of this device:

- the universal use of the car chassis with this device;
- the presence of the safety mechanism protecting the asphalt from the harm;
- the sufficient efficiency of the chipping process;
- the efficiency is higher than the efficiency of the static action devices and milling devices;
- the possibility to regulate the chipping depth;
- the possibility of the device's work in the areas covered with a thick layer of the ice crust.

The disadvantages of this device:

- the middle energy consumption during the ice crust removal;
- the insufficient quality of the cleaned surface;
- the presence of the uncleared areas; it is impossible to use the device on

the sidewalks;

- it is impossible to use the device on the sidewalks because of the large width of the device.

4) The vibration devices. The vibration device creates the inertial forces causing the vibrational motion of the WE's cutting tool; therefore, the bending moments affect the ice crust periodically. During the vibration of the WE's cutting tool, its kinetic energy is transmitted on the surface for the ice crust destruction [36 – 39]. In comparison with the percussive action devices, the vibration devices have the following characteristic feature: the vibration amplitude of the vibrator regulates the thickness of the processed ice crust, while the vibrational processing frequency depends on the excitation frequency of the vibrator.

According to the direction of vibration of the cutting tools, the vibration devices can be divided into three groups: horizontal, sloping, and vertical ones.

The horizontal vibration devices are the devices having the cutting tool with the direction of vibration parallel to the road pavement surface [36]. The cutting tools of the WE of this group: stripping knives and scrapers.

The sloping vibration devices are the devices having the cutting tool with the axis of the direction of vibration located at an angle to the road pavement surface [37]. The cutting tools of the WE of this group: vertical knives.

The vertical vibration devices are the devices having the cutting tool with the axis of the direction of vibration perpendicular to the road pavement surface [38 – 39]. The cutting tools of the WE of this group: wedge knives, waveguides, scrapers.

The most interesting technical solution for the vibration action devices is the device [36] containing the base chassis with a hinge, elastic beams in the form of the strip springs, and the working tool (Fig. 6).

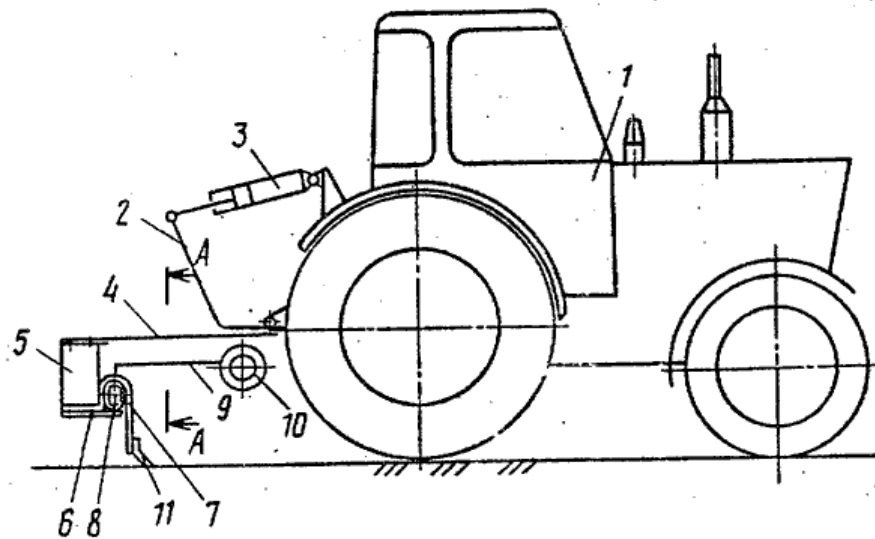


Fig. 6 – The vibration device for the ice crust removal from the road pavement

The device (Fig. 6) works in the following way. In the transport position of the frame 2 of the working equipment, the hydraulic pulsator 10 is switched on, and the working fluid goes into the elastic shell 8 through the pipeline 9; the elastic shell 8, influenced by the pressure of the working fluid, increases in the cross section and affects the elastic working tool 7 moving it forward together with the stripping knife 11 (Fig. 7). In the next half-period of vibration, the pressure in the hydraulic pulsator 10 decreases and the compression forces of the tool 7 compress the elastic shell 8. Thus, the stripping knife 11 starts the vibrational motion. Then, the work transfer is switched on and the base chassis 1 moves progressively.

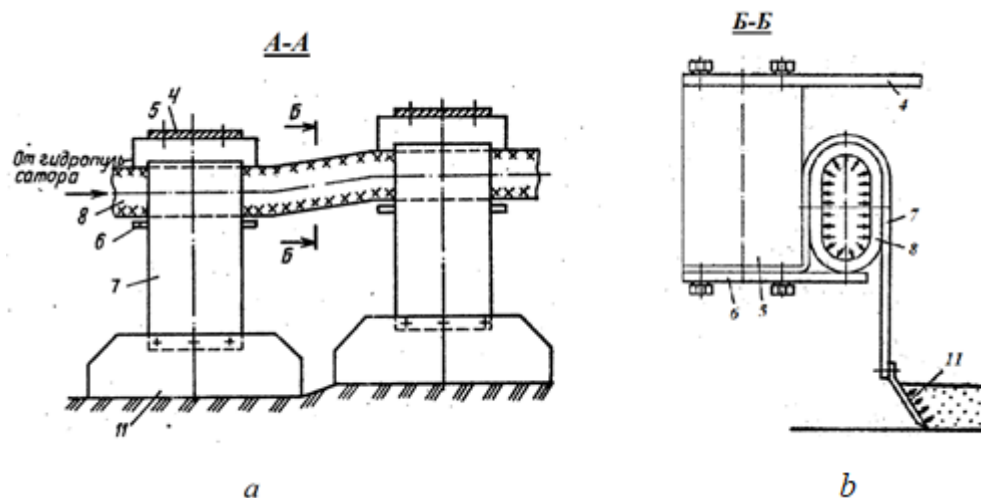


Fig. 7 – The cross-section of the working element of the vibration device for the ice crust removal from the road pavement: *a* – section A-A; *b* – section B-B

The hydraulic cylinder 3 lowers the frame of the working equipment 2 and the elastic beams 4 until the frame touches the cleaned surface of the road pavement (Fig. 6). As a result, there is the effect of vibration of the ice crust layers providing the decrease in the cutting forces in comparison with the static cutting forces of the device.

The advantages of this device:

- the universal use of the car chassis with this device;
- small size of the device;
- the minimum energy consumption;
- the simplicity of the construction;
- a small degree of the bulkiness of the device;
- the possibility to regulate the chipping depth;
- the possibility to use the device on the sidewalks;
- the possibility of the device's work in the areas covered with a thick

layer of the ice crust.

The disadvantages of this device:

- the presence of the uncleaned areas;
- the insufficient roughness of the road pavement;
- low chipping ability;
- the absence of the safety mechanism protecting the asphalt from the harm;
- low efficiency.

5) Combined devices. The devices using the advantages of different types of the known technical solutions and uniting them in one combined device [40 – 42].

According to the principle of action, the combined devices can be divided into three groups: static and milling; percussive and vibration; milling and vibration action.

The combined devices of the static and milling action are the devices that create the static load on the WE and process the ice crust by the milling [40]. In

practice, the static load is realized by the use of the ballast weight, which has the regulation possibility, in the device. The change of the ballast weight location in the device leads to the regulation of the specific pressure of the WE on the road pavement. The working tools of this group are road rollers.

The combined devices of the percussive and vibration action are the devices processing the ice crust by the percussive action of the tool on the road pavement surface. The vibrational vibrator forms the impact forces [41]. Thus, the percussive tool always makes a complex movement: rotational and progressive. The working tools of this group are hammers.

The combined devices of the milling and vibration action are the devices processing the ice crust by the rotating cutting tools (milling cutters). Meanwhile, the vibrator transmits the vibrational motions to the cutting tool [42]. Thus, the shear stress is formed in the contact area. The working tools of this group are cutters, scrapers, and knives.

The most interesting technical solution of the combined devices is the device [42] shown in Fig. 8.

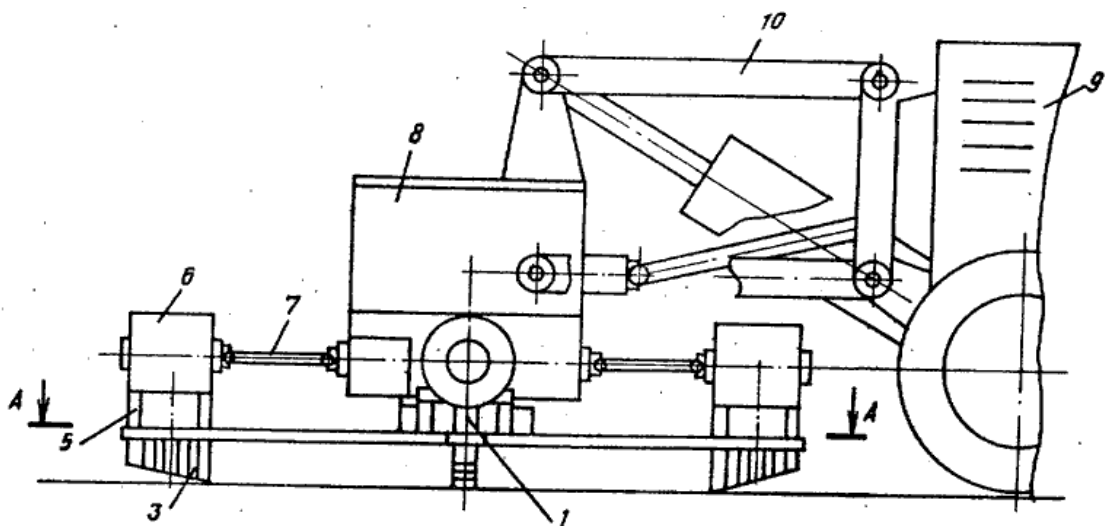


Fig. 8 – The combined device of the milling and vibration action for the ice crust removal from the road pavement

The device (Fig. 8) works in the following way. During the movement of the TV 9 on the ice crust surface, the mechanism 10 is switched on, turning the transport position of the WE into the working one. When the reducer 8 is switched on, the

rotation of the vertical shaft 1 with the cross piece 2 takes place (Fig. 9).

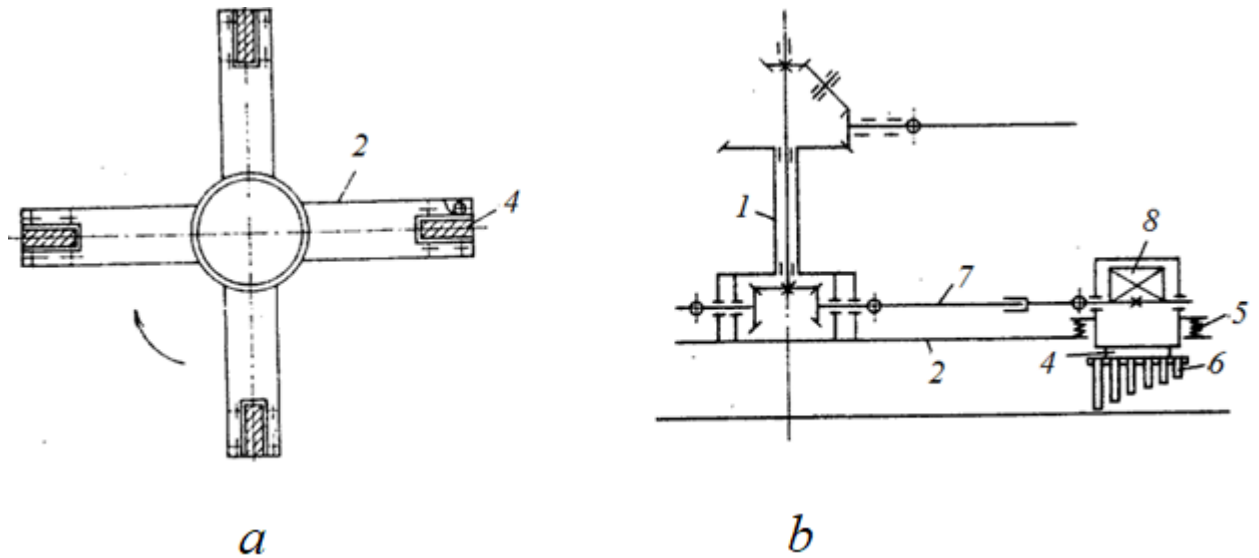


Fig. 9 – The combined device of the milling and vibration action for the ice crust removal from the road pavement: *a* – section A-A of the working element; *b* – kinematic scheme of the working element

Meanwhile, the vibrators 6 transmit the vibrational motions to the units 4 with the tools 3 that cut and chip the ice crust (Fig. 8 – 9). The processing of the surface takes place during the simultaneous movement of the TV 9 and the rotation of the cross piece 2 together with the tools 3. Due to the installation of the tools 3 with the increase in their length of the flight to the center of rotation, a more considerable layer of the ice crust is destructed, which increases the efficiency of the WE.

The advantages of this device:

- the universal use of the car chassis with this device;
- high efficiency and roughness;
- the possibility to regulate the chipping depth;
- the possibility of the device's work in the areas covered with a thick layer of the ice crust;
- the effectiveness of the device.

The disadvantages of this device:

- the insufficient quality of the cleaned surface;
- the presence of the uncleaned areas;

- the absence of the safety mechanism protecting the asphalt from the harm;
- the complicated production of the construction;
- high energy consumption level during the ice crust removal;
- emergency situations are possible during the work of the device;
- it is impossible to use the device on the sidewalks.

Figure 10 shows the classification of the mechanical devices for the ice crust removal from the road pavement in a graphical form.



Fig. 10 – The classification of the mechanical devices for the ice crust removal from the road pavement

Conclusion

The review of the mechanical devices for the ice crust removal from the road pavement examines and studies different technical solutions that will become a basis for a new development of the author, indicates their advantages and disadvantages.

The conducted analysis of the mechanical devices showed that the group of the static action devices for the ice crust removal from the road pavement requires the highest energy consumption level. The group of the vibration devices for the ice crust removal from the road pavement requires a low energy consumption level.

The most efficient devices for the ice crust chipping on the road pavement are the combined devices of the percussive and vibration action.

The milling, combined, and percussive action devices have a high efficiency.

The author developed the classification of the mechanical devices for the ice crust removal from the road pavement based on the analysis of these devices.

Thus, it is possible to conclude that the combined shock-vibration devices (the combined devices of the percussive and vibration action) are promising for further study since they require a low energy consumption and demonstrate the high efficiency level of the ice chipping process on the road surface.

Приложение Б

Привод гидравлический.

В принципиальной схеме устройства для очистки дорожных покрытий от наледи (рис. 11) в качестве источника вибрационной нагрузки используется вибратор, частота и амплитуда колебаний которого зависит от расхода гидронасоса. Рассмотрим подсистему привод гидравлический по блокам. Первый и второй блок (гидронасос и гидромотор) образуют источник момента сил (рис. 38) для генератора колебаний, который впоследствии передает пульсирующий объем рабочей жидкости на вибратор.

Структурная схема гидронасоса и гидромотора проиллюстрирована на рисунке 38.

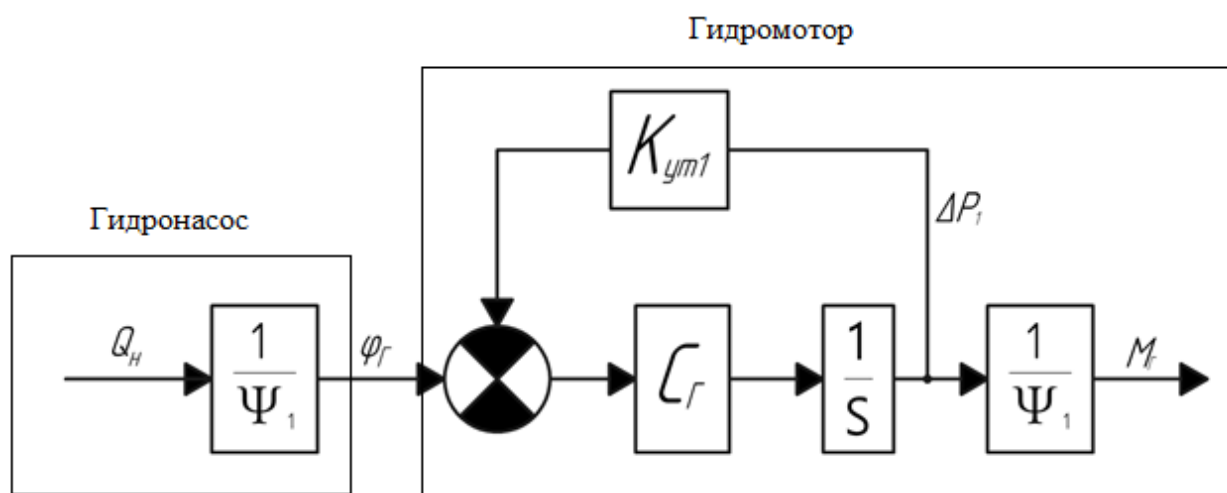


Рисунок 38 – Структурная схема гидронасоса и гидромотора

Интерес для рассмотрения представляет гидромотор (рис. 38), который под давлением рабочего расхода жидкости на входе образует на выходе крутящий момент гидромотора (M_r). Объемный гидронасос имеет дренажную систему, по которой жидкость поступает в бак (на структурной схеме не показана).

Гидромотор имеют дренажную систему, по которой жидкость поступает в бак, на структурной схеме (рис. 38) обозначается коэффициентом утечек ($K_{ут1}$), который осуществляет обратную связь в структурной схеме гидронасоса и

гидромотора. Увеличение коэффициента утечек приводит к уменьшению крутящего момента гидромотора.

Рассмотрим структурную схему подсистемы привод гидравлический со всеми встроенными гидравлическими агрегатами (рис. 39).

Привод гидравлический

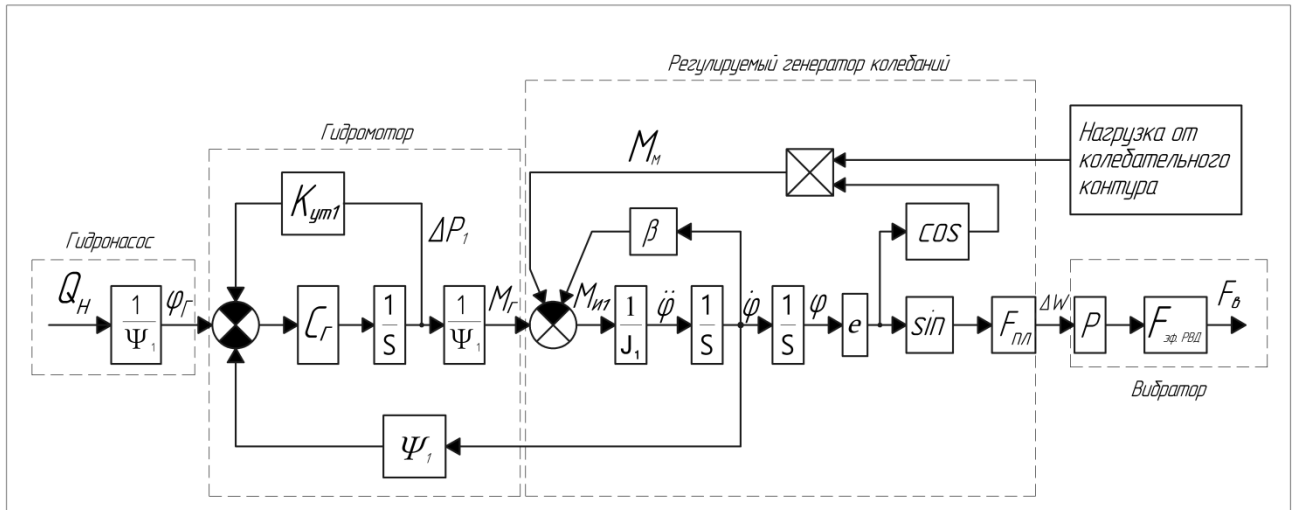


Рисунок 39 – Структурная схема привода гидравлического

Коэффициент крутильной жесткости вибратора колебаний (C_K) определяется по формуле:

$$C_K = \frac{E_{ПР} \cdot \Psi_1^2}{W_0}; \quad (44)$$

где $E_{ПР}$ – приведенный модуль объемной упругости генератора, $E_{ПР} = 3,5 \cdot 10^8$ Па;

Ψ_1 - характерный объем гидромотора (гидронасоса), $\text{м}^3/\text{рад}$;

W_0 – объем жидкости в гидравлической системе, $W_0 = 0,0001 \text{ м}^3$.

Характерный объем гидромотора определяется по формуле:

$$\Psi_1 = \frac{q}{2 \cdot \pi}; \quad (45)$$

$$\Psi_1 = \frac{0,000018}{2 \cdot 3,14} = 2,9 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{рад}.$$

где q – рабочий объем жидкости, м^3 .

$$C_K = \frac{3,5 \cdot 10^8 \cdot (2,9 \cdot 10^{-6})^2}{0,0001} = 29,4 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{рад}}.$$

Резонансная (собственная) частота вибратора колебаний f_K определяется по формуле (3):

$$f_K = \frac{1}{2 \cdot 3,14} \sqrt{\frac{29,4}{0,0025}} = 17,5 \text{ Гц}.$$

Приложение В

Структурная схема устройства с учетом его привода, разработанная в программе Matlab Simulink представлена на рисунке 40.

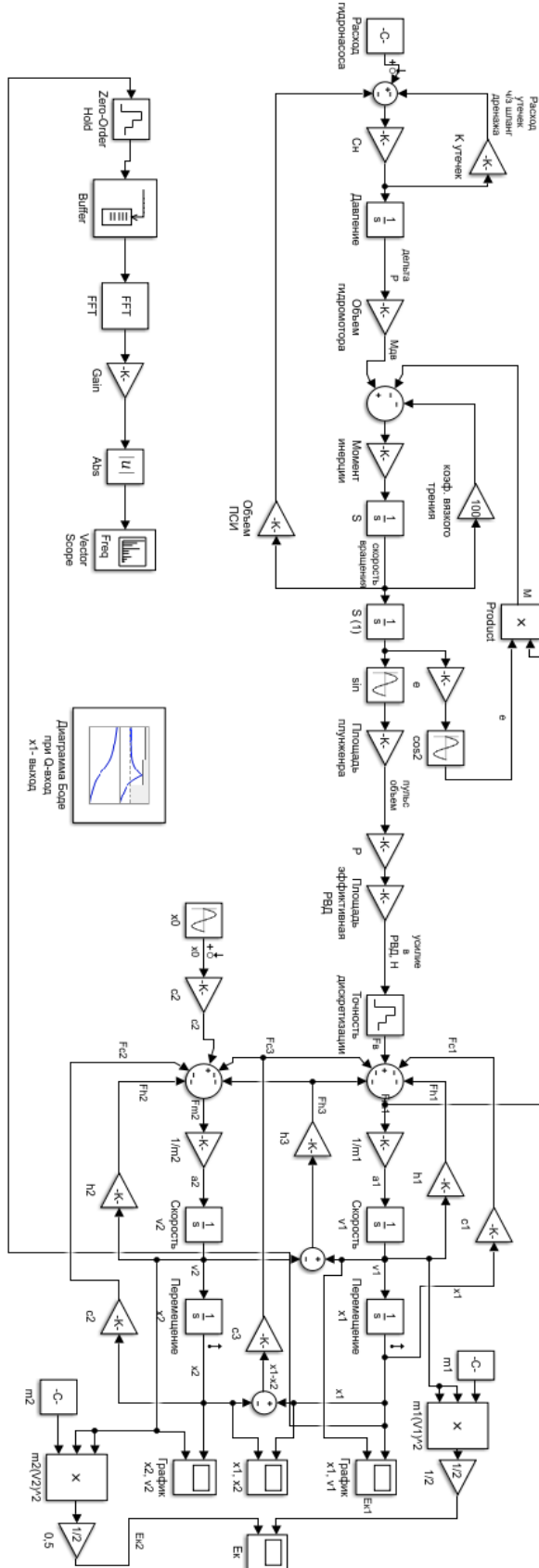


Рисунок 40 - Структурная схема устройства с гидравлическим приводом, разработанная в программной среде Matlab Simulink

Приложение Г

Исследование коэффициента жесткости РВД.

Наиболее интересным является амплитуда перемещения и скорости КК, также важным является амплитуда перемещения и скорости ТС. Данные параметры являются значимыми, так как они характеризуют оптимальные режимы работы устройства. От амплитуды перемещения и скорости КК зависит толщина обрабатываемой наледи на дорожном покрытии и кинетическая энергия удара. Амплитуды перемещения ТС может оказывать влияние на процесс колебания КК. Если амплитуда перемещения ТС будет иметь высокие числовые значения (более 20 мм), следовательно, усилие которое создает вибратор направленно не только на колебания КК, но и на возникновение повышенной вибрации в ТС, что является недопустимым. Амплитуда скорости ТС характеризует кинетическую энергию ТС.

Результат решения модели представлен на графике (рис. 41).

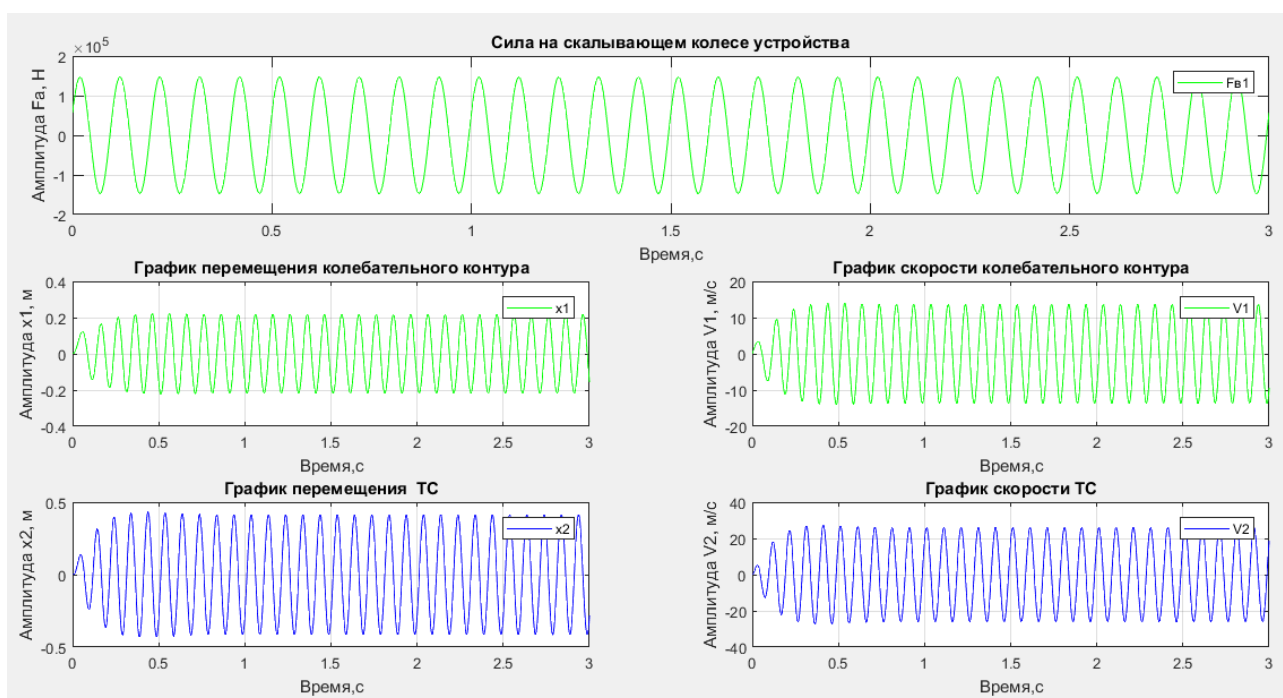


Рисунок 41 – Перемещения и скорости устройства при исследовании коэффициента жесткости РВД

На рисунке 41 представлен график перемещения скалывающего колеса x_1 и график перемещения ТС (x_2). Как видно из графика, скалывающего колеса составляет 200 мм. Не корректным параметром является амплитуда перемещения ТС, которая составляет 500 мм, что является недопустимым, так как процесс скалывания наледи с дорожного покрытия обуславливается обменом энергии между КК и ТС. Амплитуда перемещение ТС больше амплитуды перемещения КК, это значит, что энергия удара скалывающего колеса рассеивается на колебания ТС, следовательно, основная энергия затрачивается на колебания ТС. В связи с этим возникает задача оптимизации режимов работы устройства.

По результатам исследования, можно оптимизировать режим работы устройства с помощью изменения коэффициента жесткости РВД.

Исследование коэффициента упругости РВД производится согласно плану теоретического исследования (таб. 1) показано на рисунке 42, 43. 44.

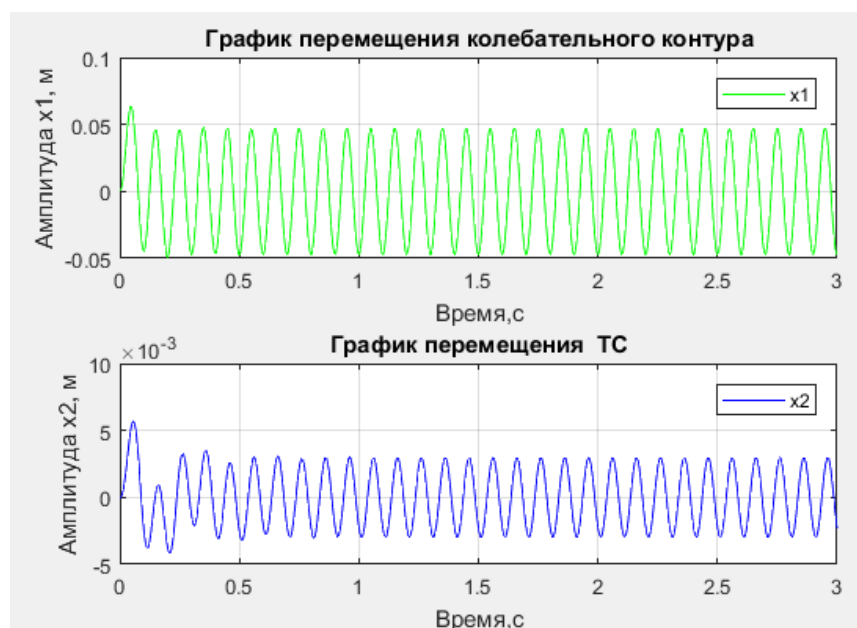


Рисунок 42 – Перемещение и скорость устройства при исследовании коэффициента жесткости РВД равным $1,2 \cdot 10^6$ Н/м

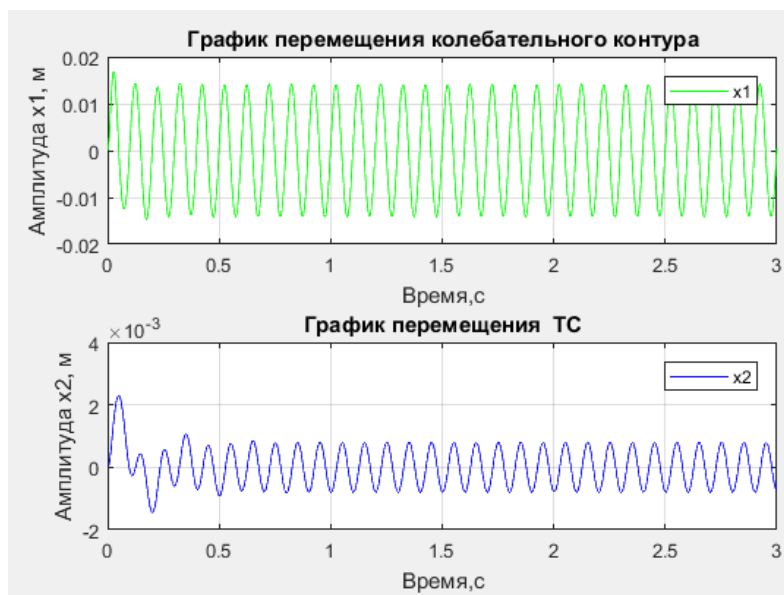


Рисунок 43 – Перемещение и скорость устройства при исследовании коэффициента жесткости РВД равным $1,2 \cdot 10^7$ Н/м

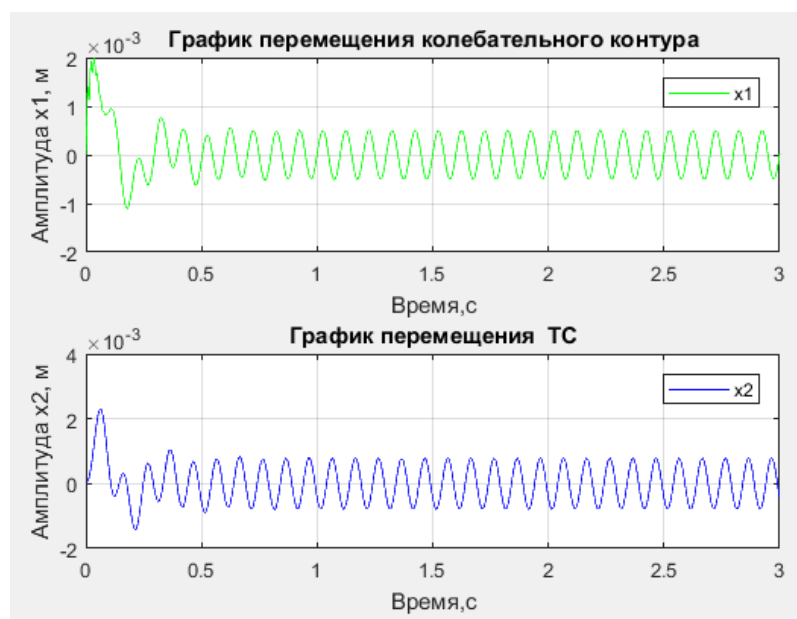


Рисунок 43 – Перемещение и скорость устройства при исследовании коэффициента жесткости РВД равным $1,2 \cdot 10^8$ Н/м

При увеличении коэффициента упругости РВД c_3 в 10 раз, происходит уменьшение амплитуды перемещения КК и ТС в 2 раза. При увеличении коэффициента упругости РВД c_3 в 100 раз, происходит уменьшение, амплитуды перемещения КК. При этом амплитуда перемещения ТС уменьшается незначительно.

В результате исследования коэффициента жесткости РВД, можно построить график с оптимальным значением перемещения скальвующего колеса и ТС.

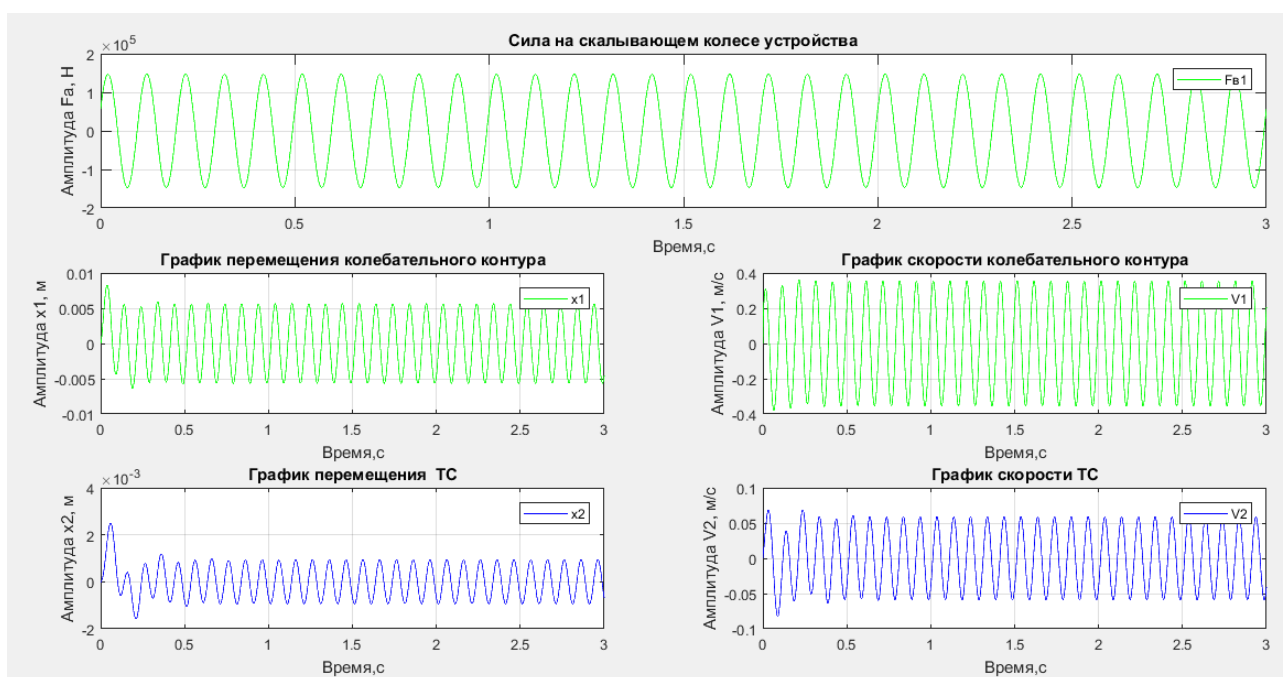


Рисунок 44 – Перемещения и скорости устройства при оптимальном коэффициенте жесткости РВД

На рисунке 44 показаны графики оптимизированной математической модели устройства. Из графика видно, что амплитуда перемещения скальвующего колеса КК устройства составляет 5 мм, т.е. размах (ход) составляет 10 мм. Данное значение является приемлемым для работы данного устройства, но недостаточным.

Амплитуда перемещения ТС составляет из графика 1 мм, размах составляет 2 мм. Значение являются допустимыми и приемлемыми для ТС с массой около 20 тонн. Важнейшей задачей современной техники является уменьшение величины вибрации (перемещения ТС), следовательно, этот показатель необходимо стремиться уменьшать.

За счёт оптимального подбора частоты и упруго инерционных параметров скальвующего колеса, можно добиться оптимальных режимов очитки дорожных покрытий от наледи.

Приложение Д

Эксперимент 1. Дорезонансный режим работы устройства на ХХ.

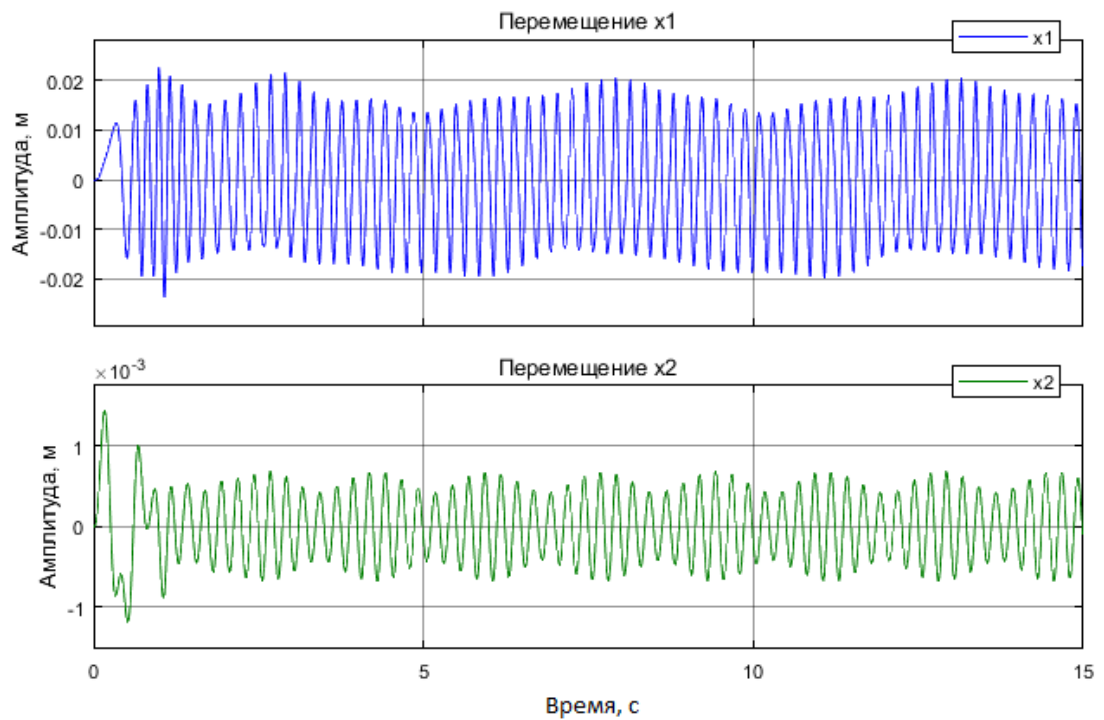


Рисунок 45 – Перемещение КК и ТС при дорезонансном режиме на ХХ

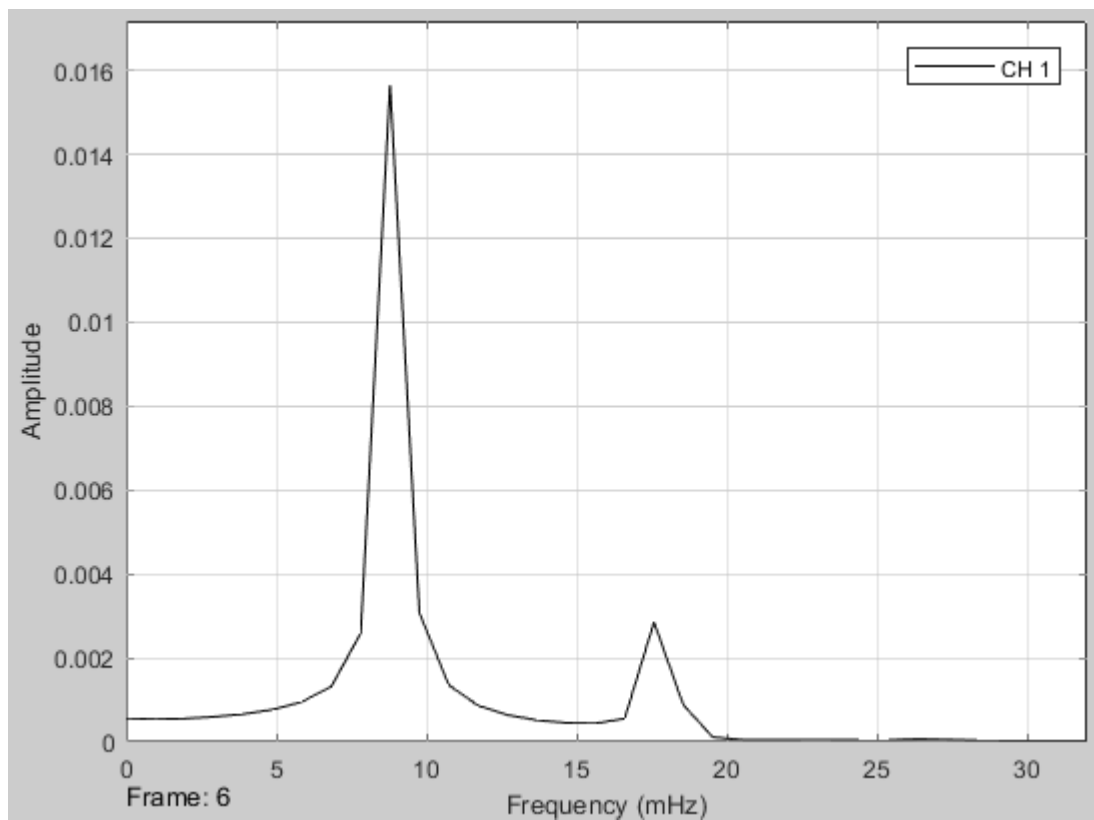


Рисунок 46 – Спектр колебаний вибратора КК при $f = 8,5$ Гц на ХХ

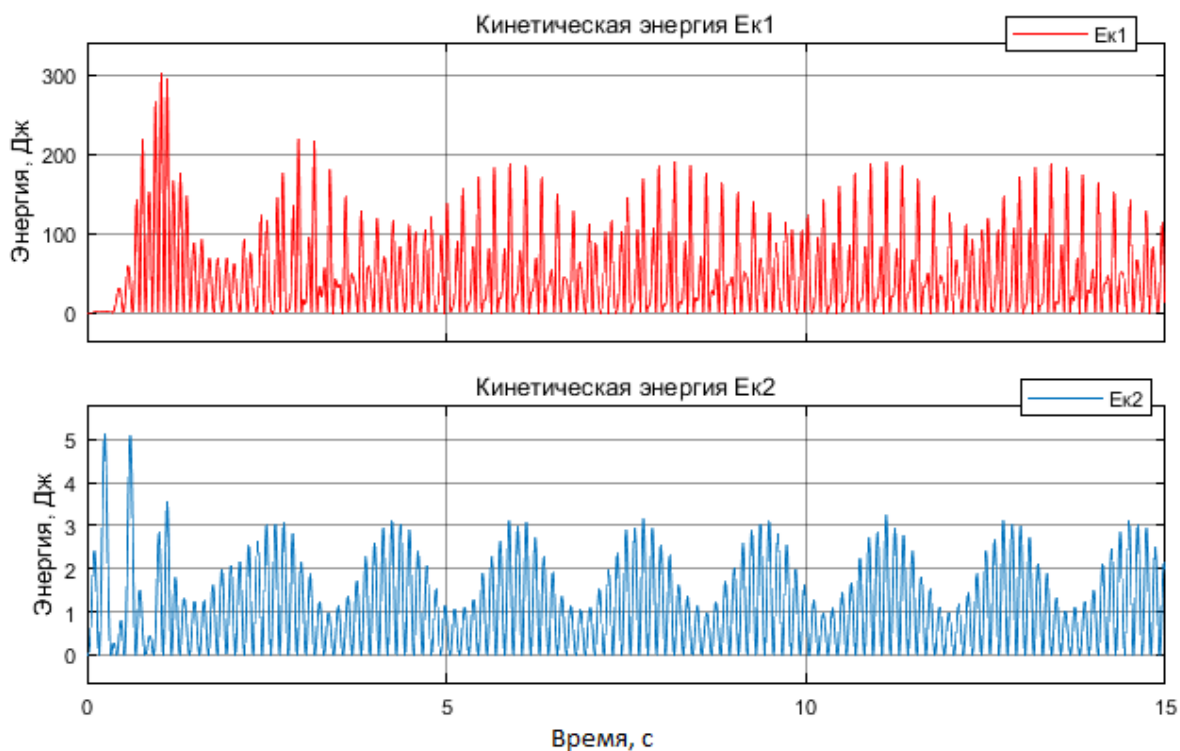


Рисунок 47 – Кинетическая энергия удара и ТС при дорезонансном режиме на XX

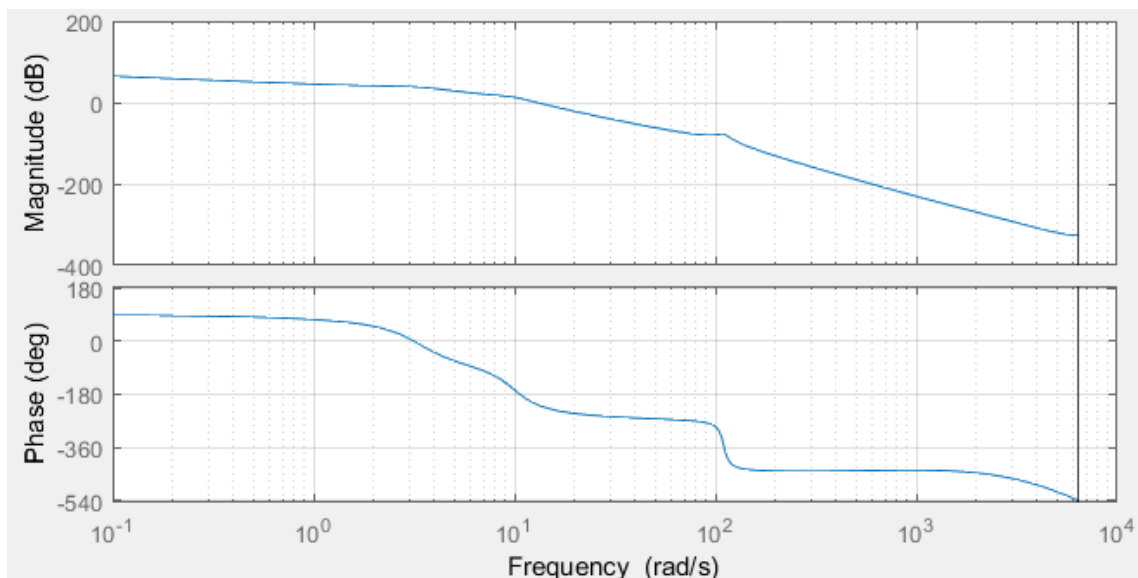


Рисунок 48 – График АФЧХ при $f = 8,5$ Гц на XX

График (рис. 45) перемещения КК имеет переходной процесс, который занимает 5 секунд. Максимальная амплитуда перемещения достигает 20 мм, что является допустимым для низкой толщины наледи. Амплитуда перемещения ТС на графике составляет не более 0,6 мм (без учета переходного режима, который длится 2 секунды), что является приемлемым.

Эксперимент 2. Резонансный режим работы устройства на ХХ.

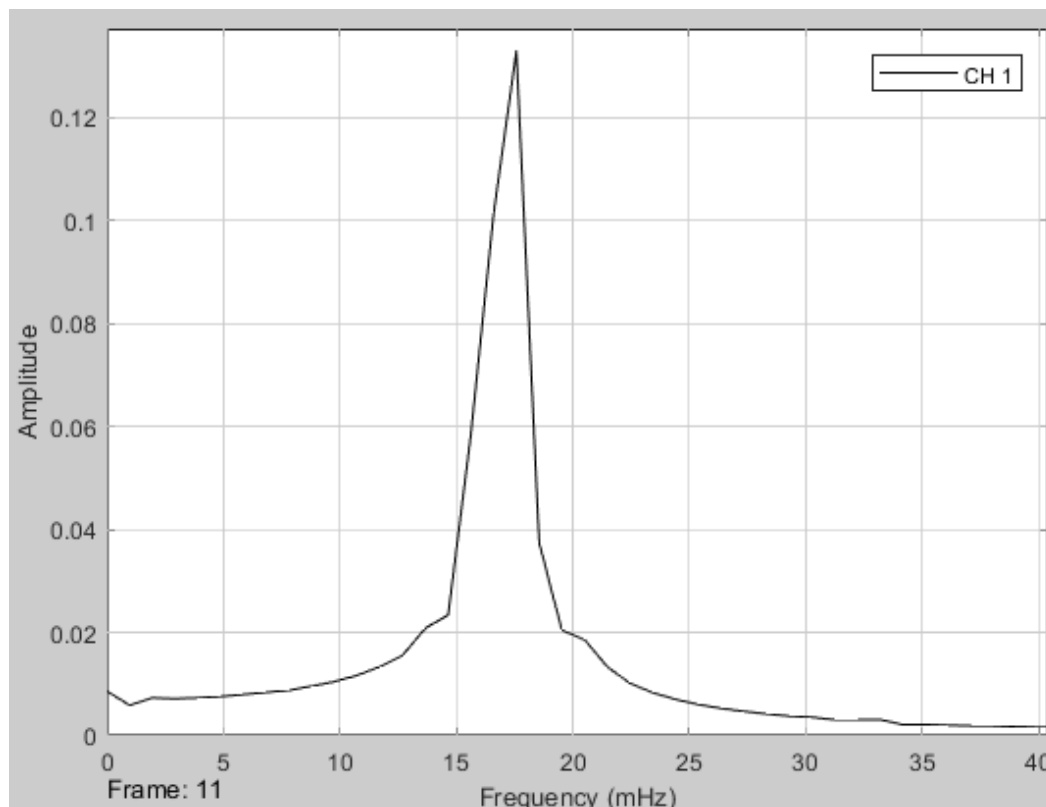


Рисунок 49 – Спектр колебаний вибратора КК при $f = 17,5$ Гц на ХХ

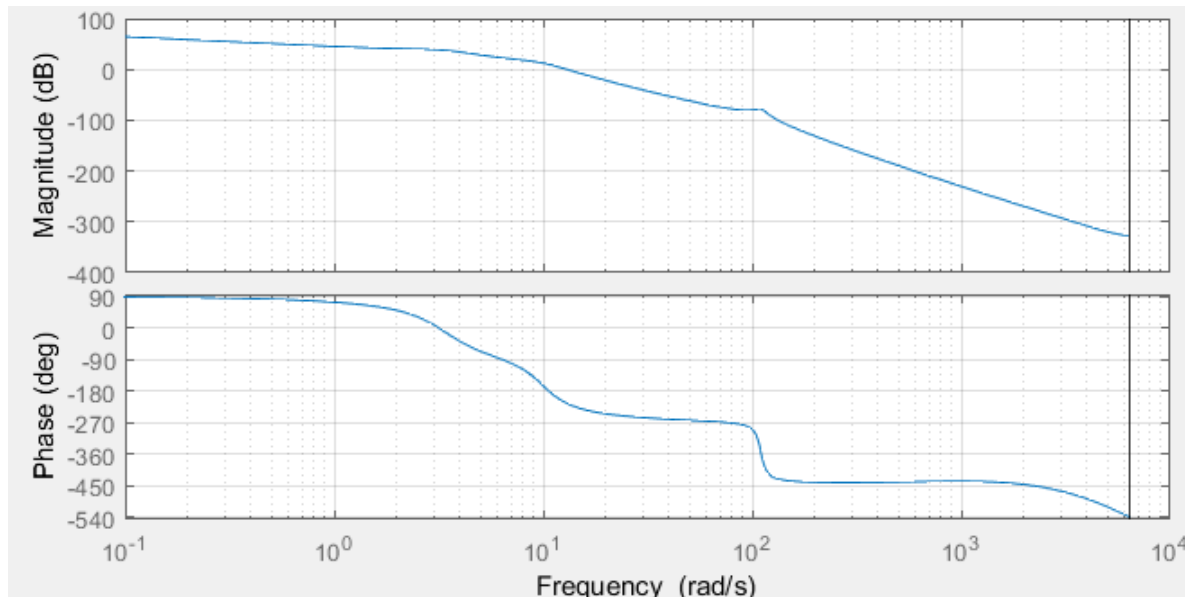


Рисунок 50 – График АФЧХ при $f = 17,5$ Гц на ХХ

Наиболее существенной стала разница амплитуды перемещения КК по сравнению с резонансным режимом. С переходом в дорезонансный режим амплитуда перемещения КК снизилась в 10 раз, что подтверждает эффективность работы резонансного режима. Существенной разницы амплитуды перемещения

ТС по сравнению с резонансным режимом не произошло. Произошло её снижение с 1 мм до 0,6 мм.

На графике АФЧХ (рис. 48) видно уменьшение амплитуды по сравнению с резонансным режимом (рис. 50). Дорезонансный режим наблюдается на спектре ($f = 8,5$ Гц) в низкочастотной зоне.

Максимальное значение кинетической энергии удара составляет 300 Дж, однако значение кинетической энергии ТС не превышает 5 Дж.

Установившиеся значение кинетической энергии в момент удара составляет около 200 Дж. При переходе в дорезонансный режим, кинетическая энергия удара уменьшилась в 10 раз.

Таким образом, можно сделать вывод, о том, что переход с резонансного в дорезонансный режим работы устройства и наоборот позволяет изменять амплитуду перемещения КК и кинетическую энергию удара в 10 раз.

Эксперимент 3. Зарезонансный режим работы устройства на ХХ.

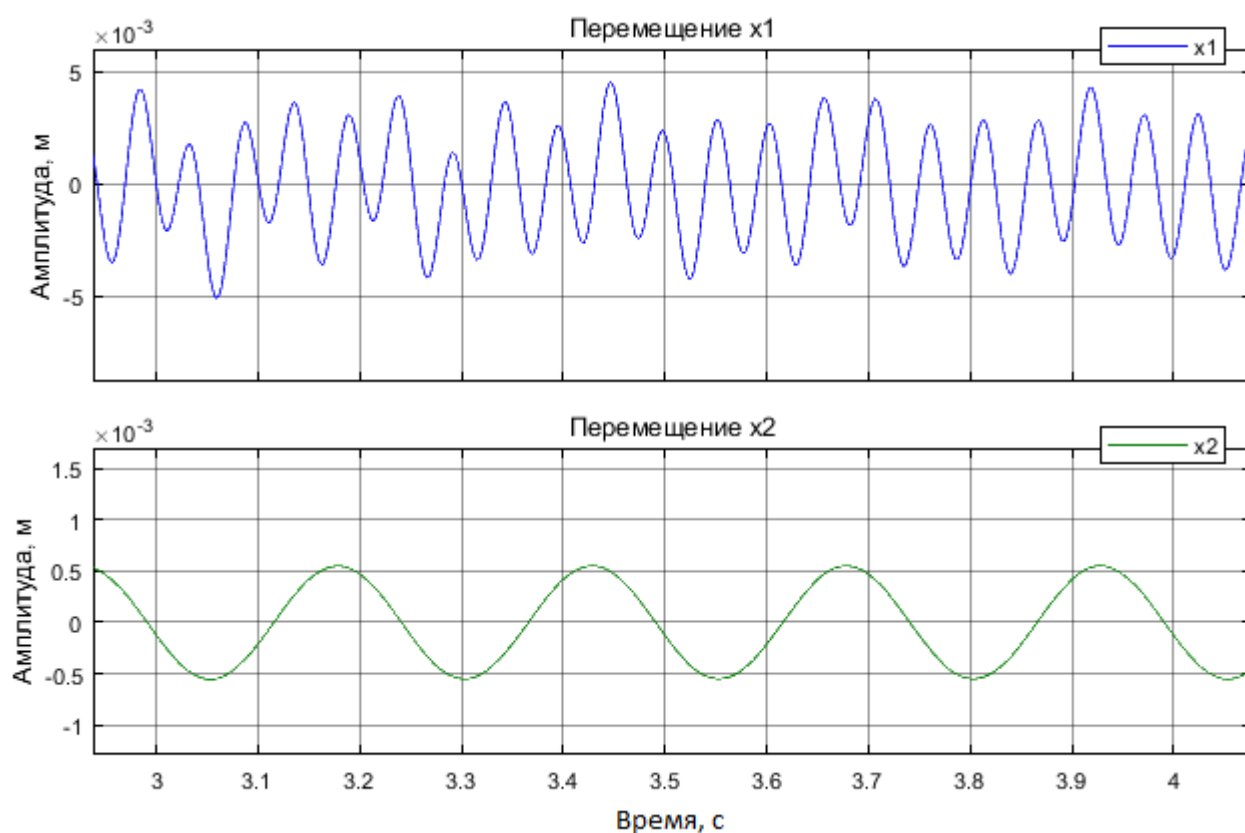


Рисунок 51 –Перемещение КК и ТС при зарезонансном режиме на ХХ

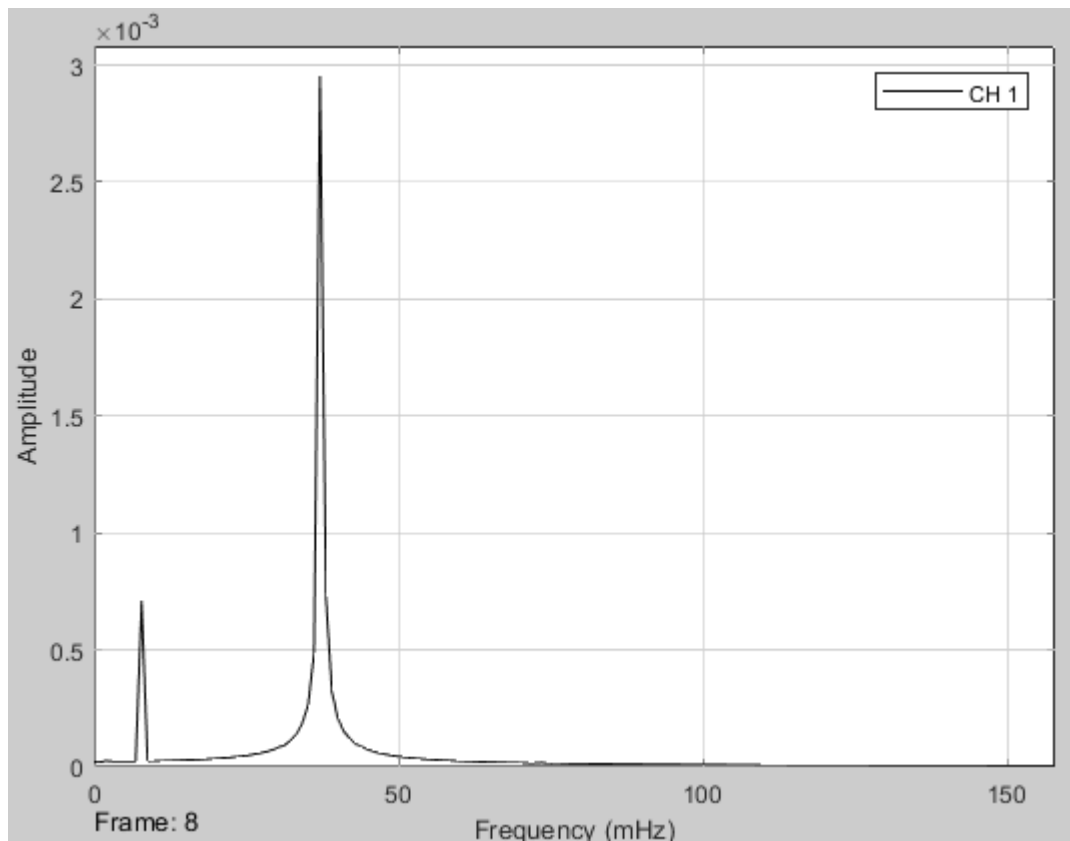


Рисунок 52 – Спектр колебаний вибратора КК при $f = 37$ Гц на XX

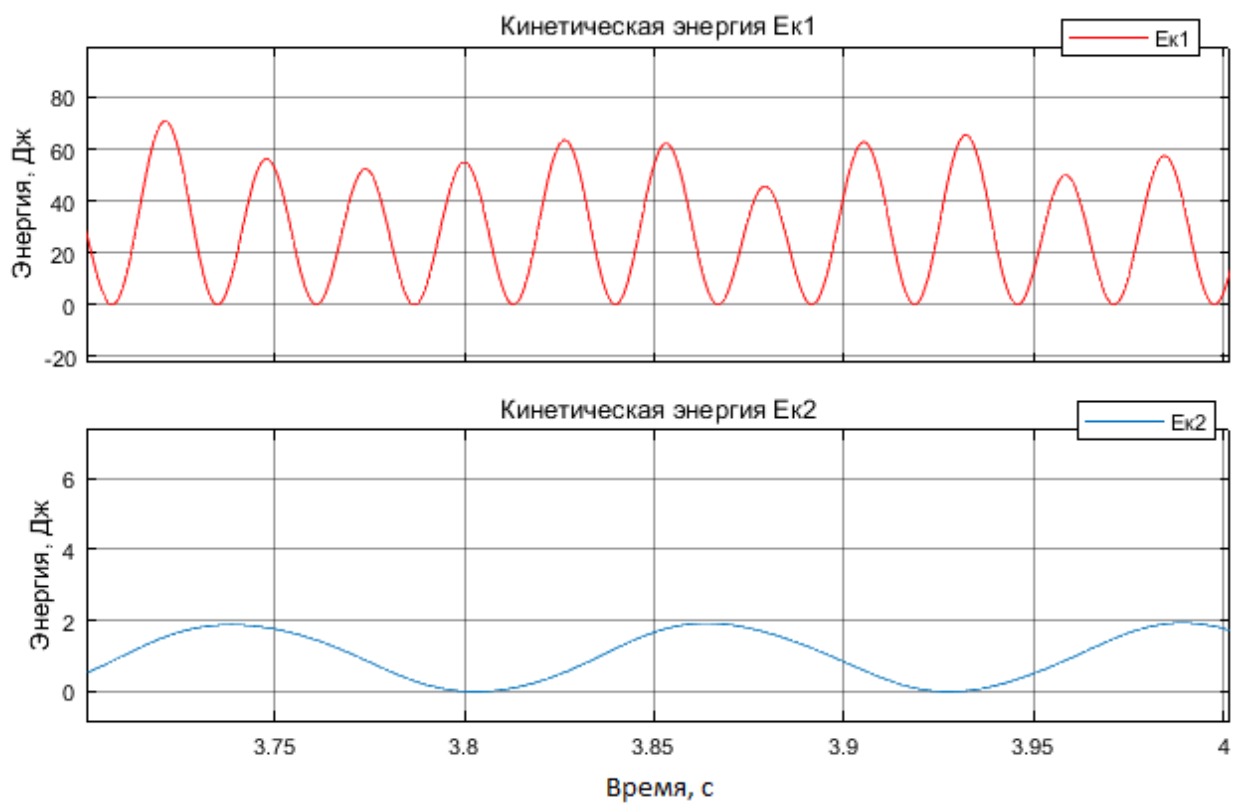


Рисунок 53 – Кинетическая энергия удара и ТС при резонансном режиме на XX

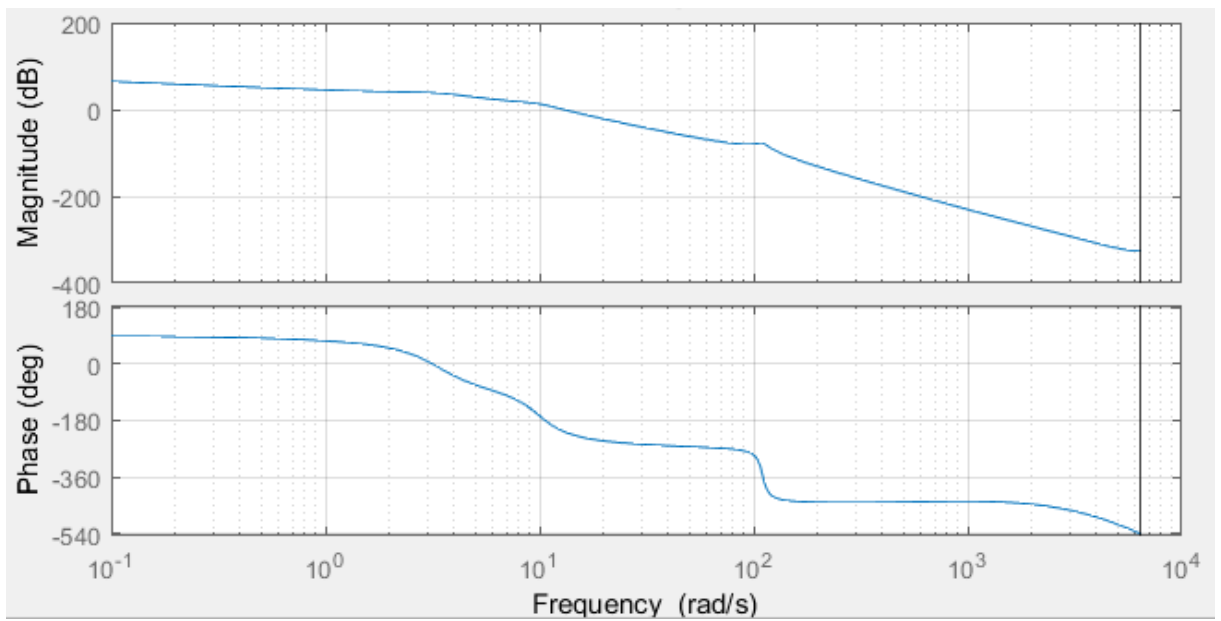


Рисунок 54 – График АФЧХ при $f = 37$ Гц на ХХ

Приложение Е

Эксперимент 1. Дорезонансный режим работы устройства под нагрузкой.

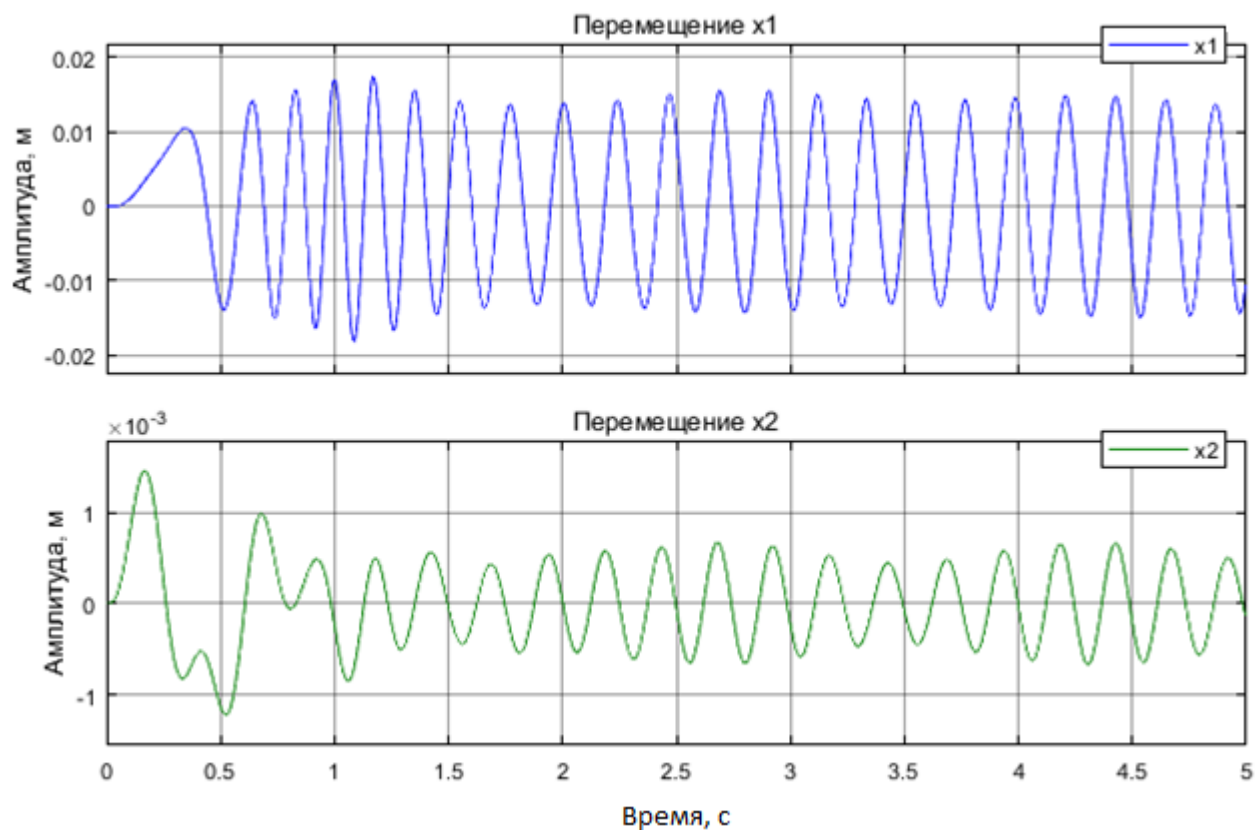


Рисунок 55 – Перемещение КК и ТС при дорезонансном режиме под нагрузкой

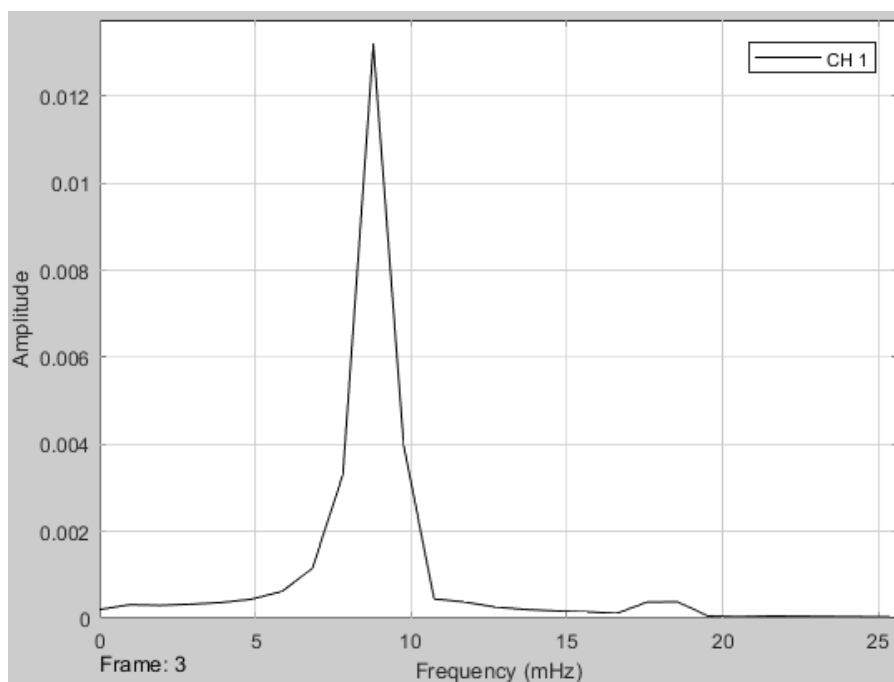


Рисунок 56 – Спектр колебаний вибратора КК при $f = 8,5$ Гц под нагрузкой

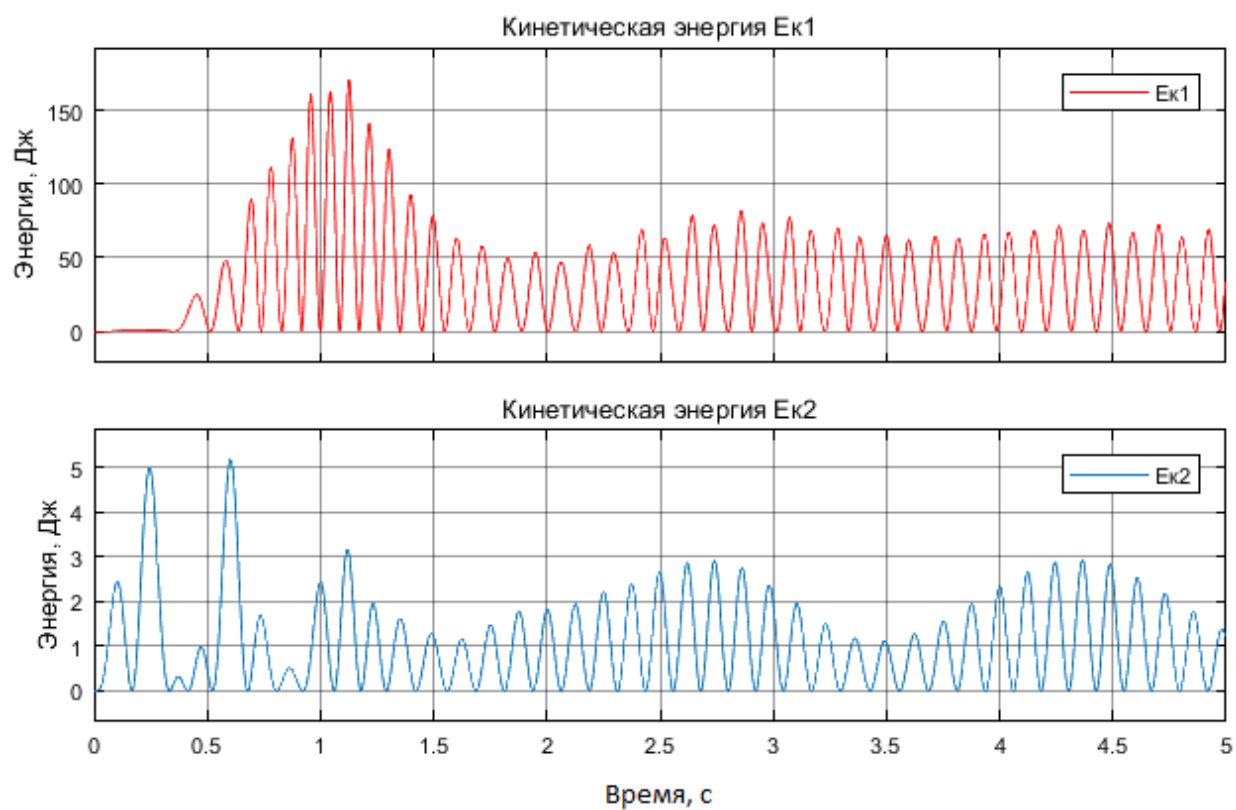


Рисунок 57 – Кинетическая энергия удара и ТС при дорезонансном режиме под нагрузкой

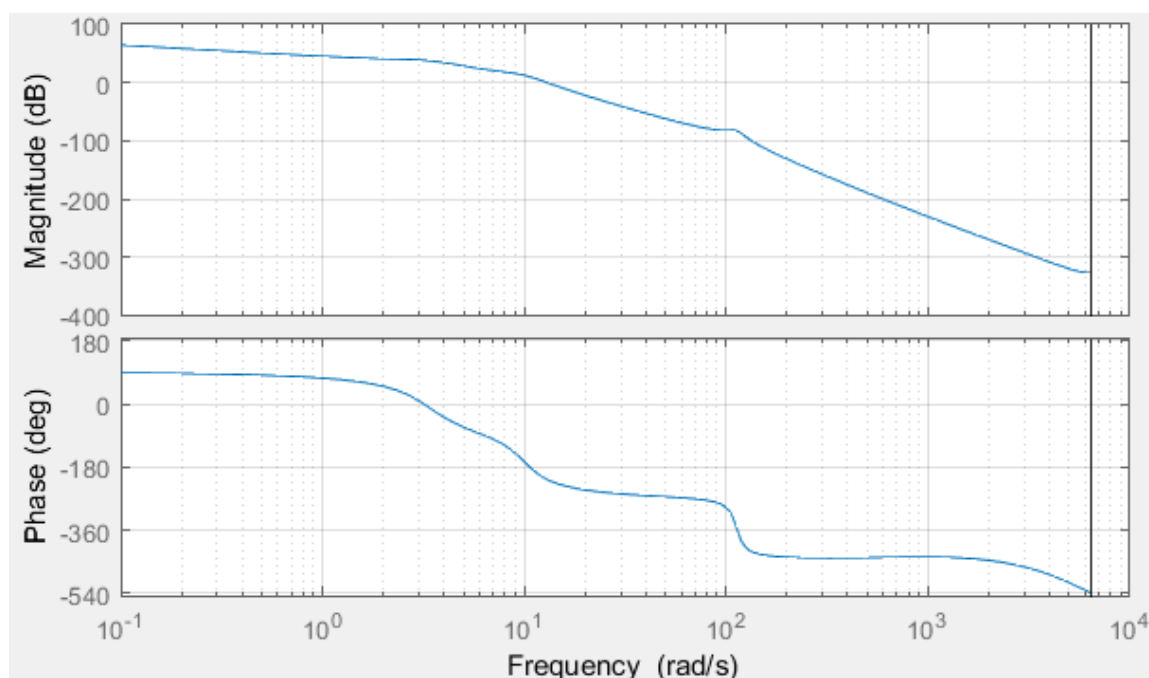


Рисунок 58 – График АФЧХ при $f = 8,5$ Гц под нагрузкой

Эксперимент 2. Резонансный режим работы устройства под нагрузкой.

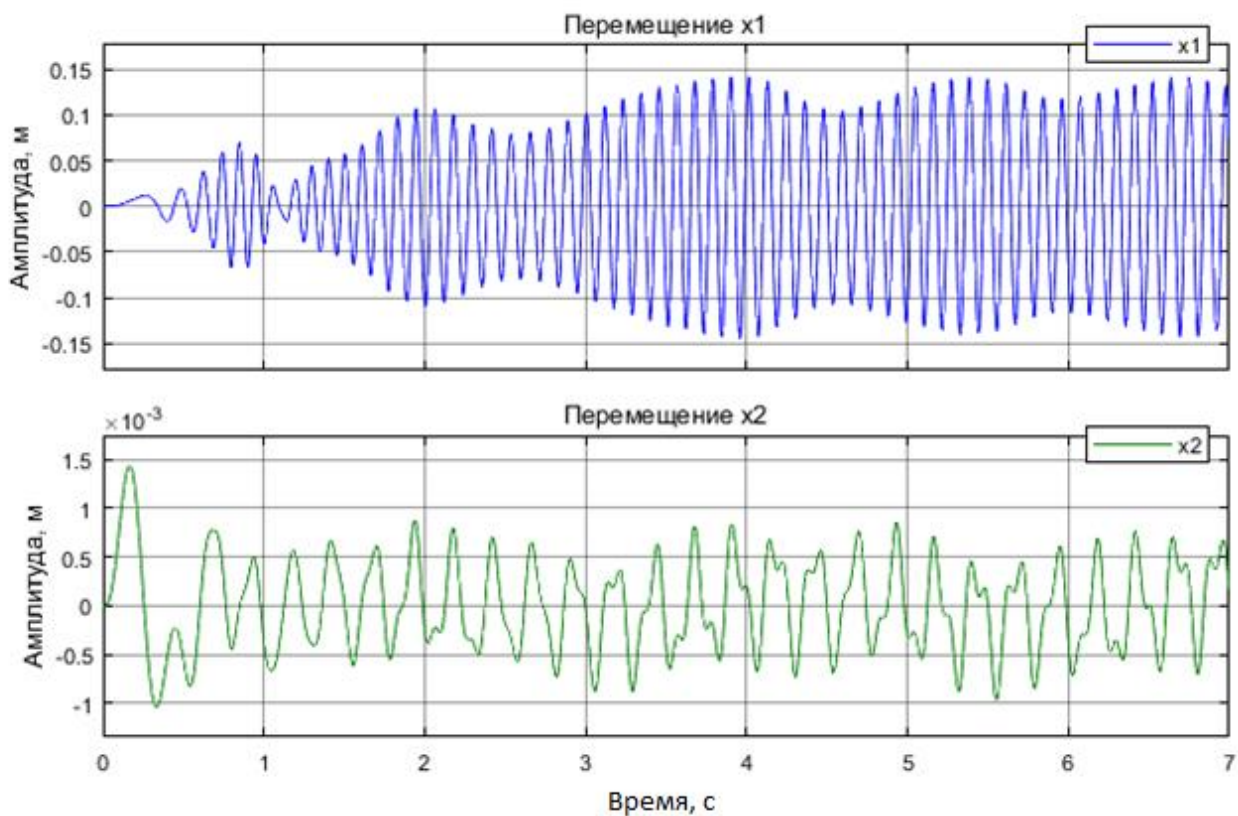


Рисунок 59 –Перемещение КК и ТС при резонансном режиме под нагрузкой

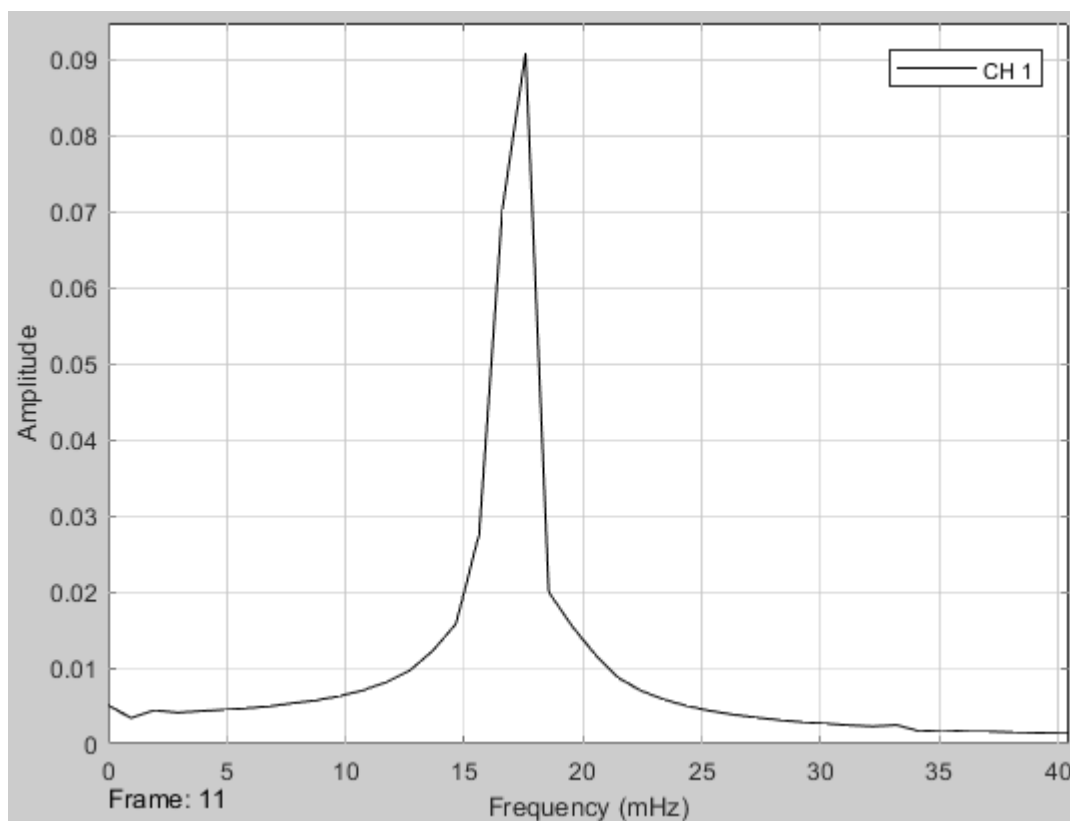


Рисунок 60 – Спектр колебаний вибратора КК при $f = 17,5$ Гц под нагрузкой

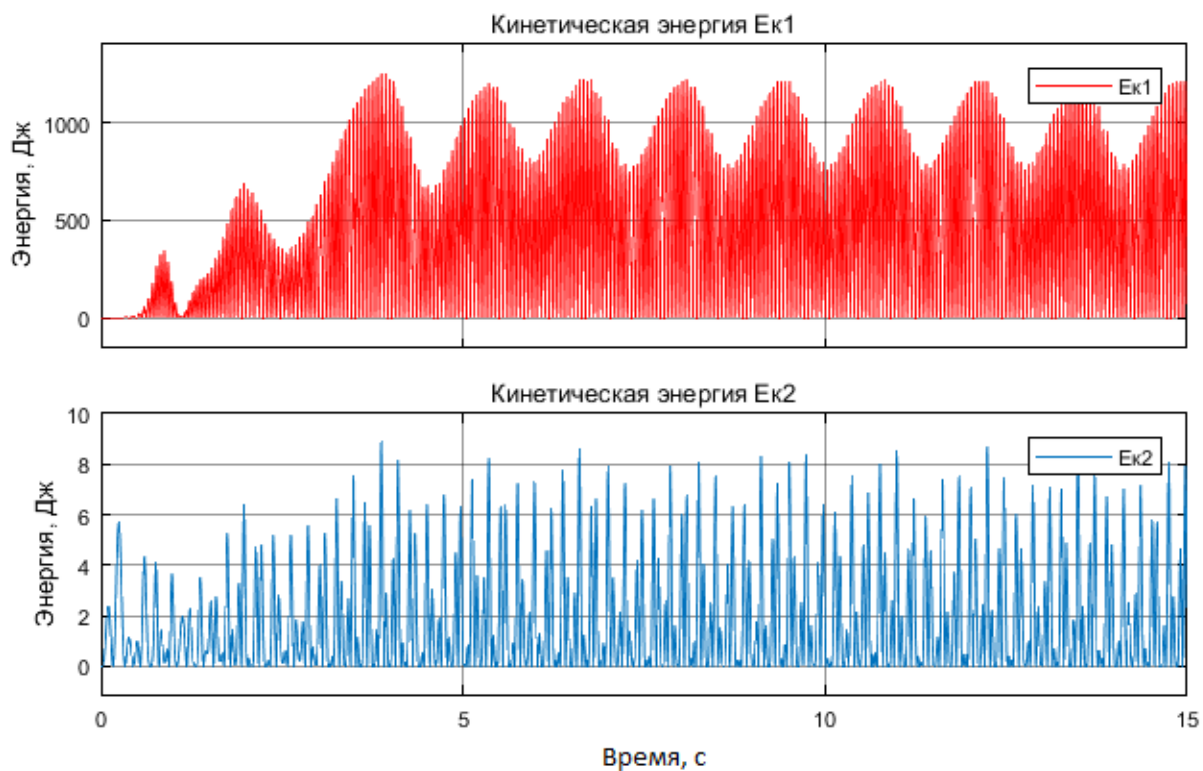


Рисунок 61– Кинетическая энергия удара и ТС при резонансном режиме под нагрузкой

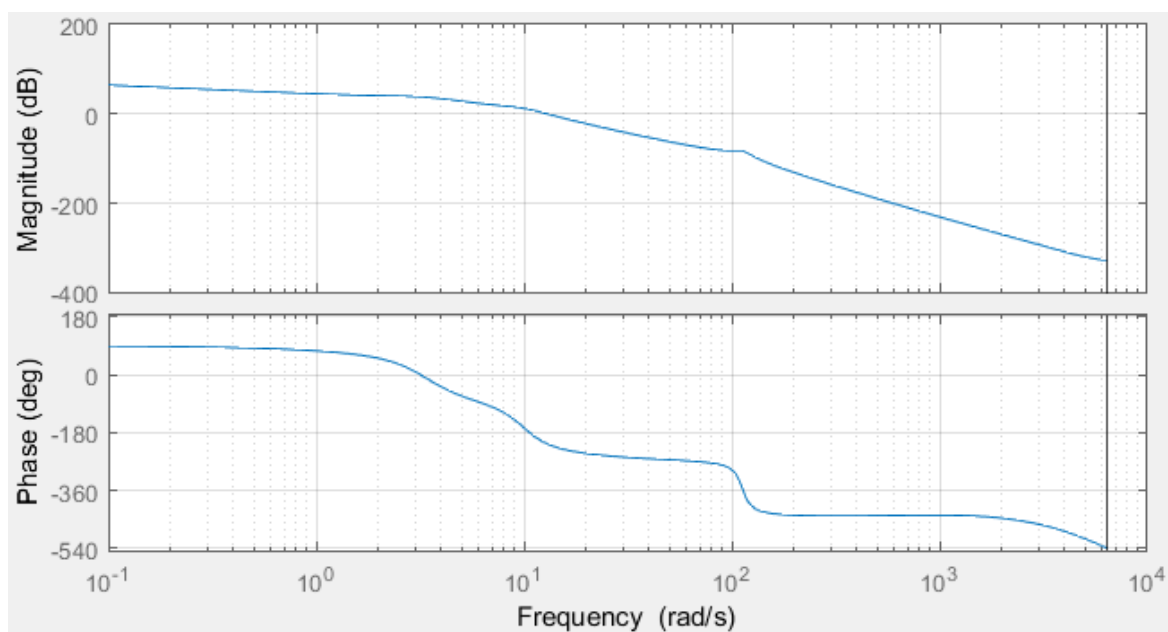


Рисунок 62 – График АФЧХ при $f = 17,5$ Гц под нагрузкой

Эксперимент 3. Зарезонансный режим работы устройства под нагрузкой.

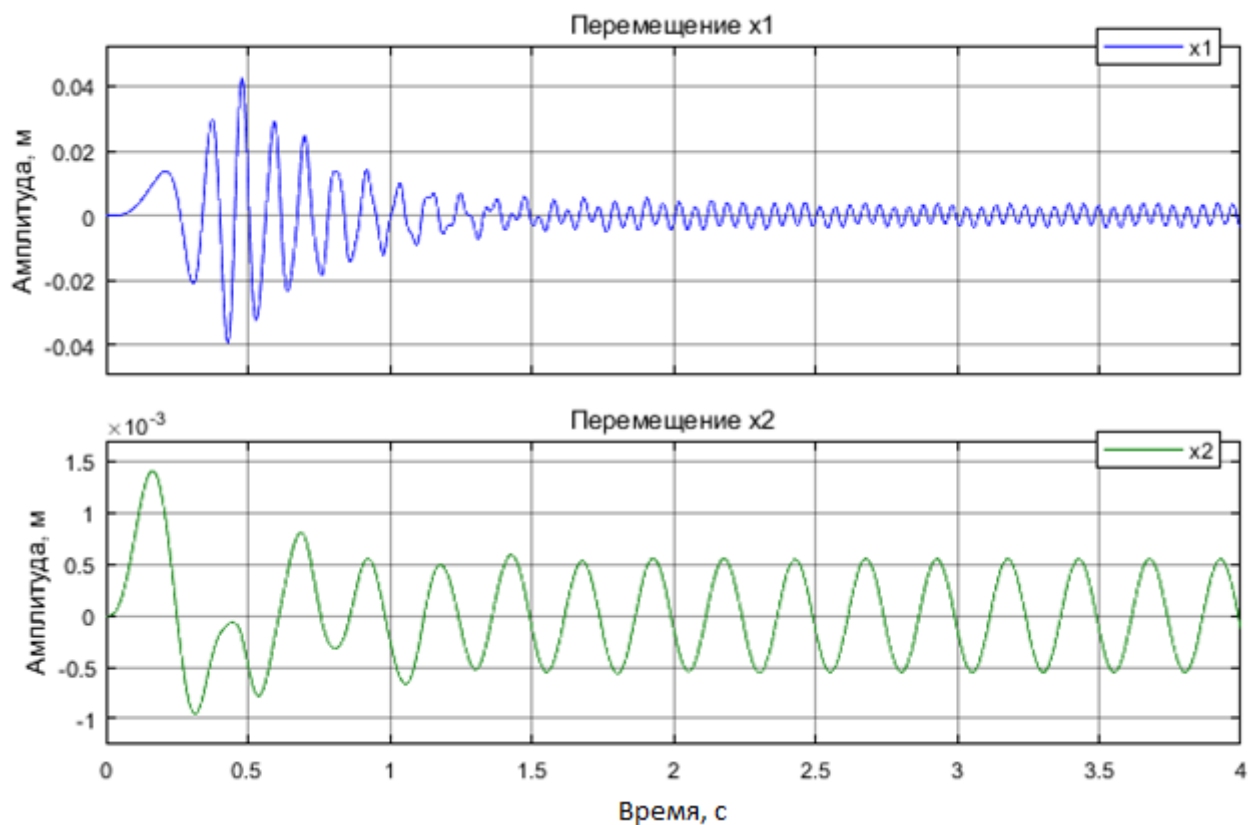


Рисунок 63 – Перемещение КК и ТС при зарезонансном режиме под нагрузкой

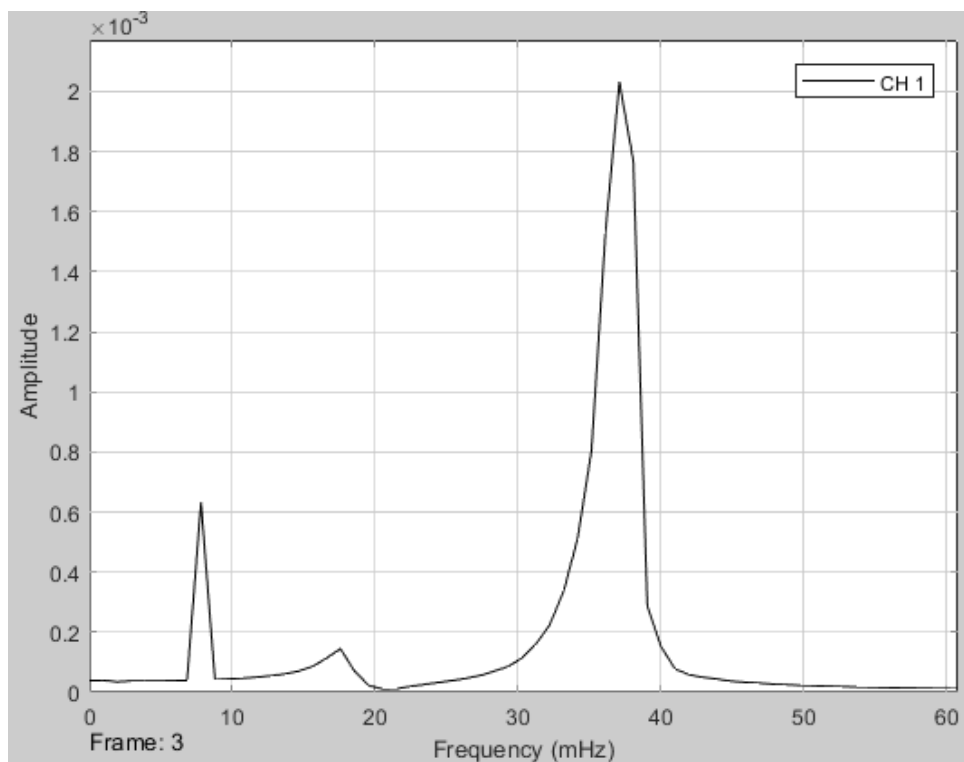


Рисунок 64 – Спектр колебаний вибратора КК при $f = 37$ Гц под нагрузкой

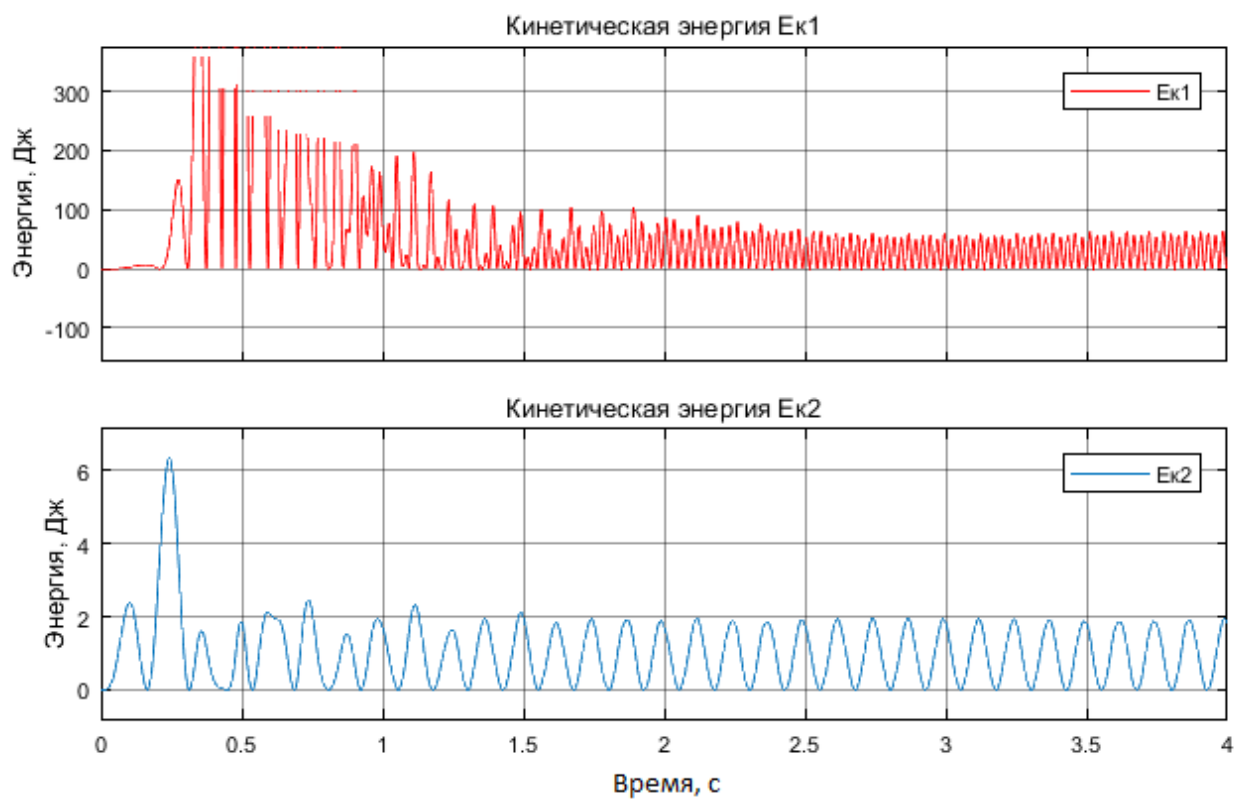


Рисунок 65 – Кинетическая энергия удара и ТС при зарезонансном режиме под нагрузкой

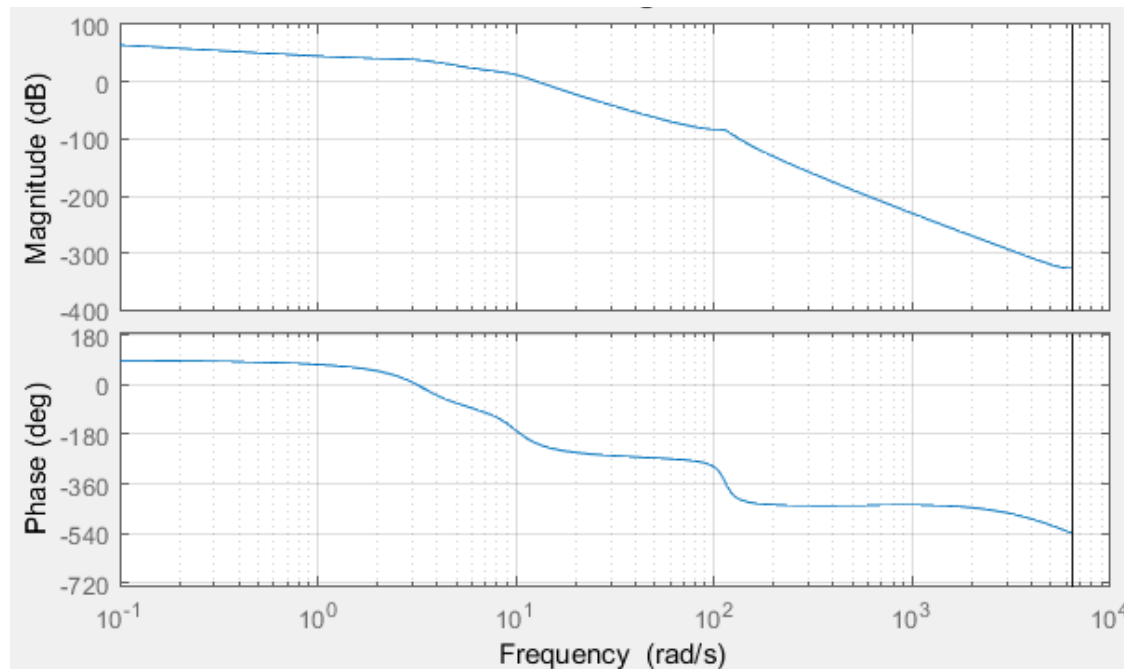


Рисунок 66 – График АФЧХ при $f = 37$ Гц под нагрузкой