

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Политехнический институт  
Кафедра «Инженерная экология и безопасность жизнедеятельности»

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ Т.А. Кулагина  
подпись                      инициалы, фамилия

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018 г.

## МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

«Повышение безопасности работающего оборудования с грузом на тросовой  
подвеске»

20.04.01 «Техносферная безопасность»

20.04.01.01 «Безопасность жизнедеятельности в техносфере»

Научный руководитель \_\_\_\_\_ к.т.н., доцент Л.Н. Горбунова  
подпись, дата

Выпускник \_\_\_\_\_ Е.А. Уранова  
подпись, дата

Рецензент \_\_\_\_\_ к.т.н., доцент Е.П. Грищенко  
подпись, дата

Красноярск 2018

## АННОТАЦИЯ

Для исследовательской работы была выбрана проблема обеспечения безопасности работающего оборудования с грузом на тросовой подвеске, решаемой за счет устранения вертикальных колебаний груза.

Актуальность исследования определяется разработкой комплекса мероприятий, обеспечивающих предотвращение вертикальных колебаний груза в процессе работы подъемного оборудования.

Целью работы является оценка состояния промышленной безопасности грузоподъемных кранов и разработка мероприятий и предложений по повышению безопасности их эксплуатации.

Указанная цель определила следующие задачи работы:

- исследование влияния на уровень предаварийных состояний, аварийности и производственного травматизма вертикальных колебаний груза на тросовой подвеске;

- разработка способов и технических устройств по повышению промышленной безопасности при эксплуатации грузоподъемных кранов.

В первой главе «Анализ способов и технических устройств гашения колебаний груза» отражены основные сведения о грузоподъемных механизмах, представлены виды, классификация, наиболее часто встречающиеся опасности. Проведен литературный обзор современных информационных источников в сфере решения проблемы колебания грузоподъемных механизмов в процессе осуществления работы.

Во второй главе «Объекты и методы исследования» для решения поставленной цели в ходе экспериментальной части была проведена серия экспериментов по определению зависимости частоты вертикальных колебаний поднимаемого и опускаемого груза от его массы и длины троса.

В третьей главе «Расчет риска» для оценки рисков, связанных с раскачиванием груза на подвеске путем применения подхода на основе экспертных оценок был проведен анализ мнения экспертов относительно влияния дефектов на величину экономического ущерба от повреждения подъемного механизма и транспортируемого груза, осуществлен расчет технического риска применительно к грузоподъемным механизмам с учетом экспериментальных статистических данных, экспертных оценок и средних рыночных цен на детали.

Итогом исследовательской работы стал вывод о зависимости периода колебаний от высоты подвеса и массы груза, как при подъеме, так и при опускании груза, положенная в основу разработки автоматических систем торможения для устранения вертикальных колебаний груза.

**НАДЕЖНОСТЬ И БЕЗОПАСНОСТЬ, ВЕРТИКАЛЬНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ГРУЗА, ПЕРИОД КОЛЕБАНИЙ, ДЛИНА КАНАТА, АВТОМАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ТОРМОЖЕНИЯ ГРУЗОПОДЪЕМНЫЕ МЕХАНИЗМЫ, ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ, АВАРИЙНОСТЬ, ТРОСОВАЯ ПОДВЕСКА.**

## РЕФЕРАТ

Реферируемая диссертация посвящена исследованию проблемы повышения безопасности работающего оборудования с грузом на тросовой подвеске и включает в себя 72 страницы машинописного текста, 21 иллюстрацию, 11 таблиц, 19 формул, 51 литературный источник и 5 графических листов.

Ключевые слова: НАДЁЖНОСТЬ И БЕЗОПАСНОСТЬ, ВЕРТИКАЛЬНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ГРУЗА, ПЕРИОД КОЛЕБАНИЙ, ДЛИНА КАНАТА, АВТОМАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ТОРМОЖЕНИЯ ГРУЗОПОДЪЕМНЫЕ МЕХАНИЗМЫ, ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ, АВАРИЙНОСТЬ, ТРОСОВАЯ ПОДВЕСКА.

Актуальность исследования определяется разработкой современного комплекса технических мероприятий, обеспечивающих снижение уровня аварийности и травматизма при эксплуатации грузоподъемных механизмов.

Целью работы является оценка состояния промышленной безопасности грузоподъемных кранов и разработка мероприятий и предложений по повышению безопасности их эксплуатации.

Результатом выполненного исследования является разработка рекомендаций для технических устройств, устраняющих вертикальные колебания груза.

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Политехнический институт  
«Инженерная экология и безопасность жизнедеятельности»

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
\_\_\_\_\_ Кулагина Т. А.  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 г.

**ЗАДАНИЕ  
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ  
в форме магистерской диссертации**

Студенту Урановой Екатерине Александровне  
Группа ФЭ16-07М  
Направление (специальность): 20.04.01 «Техносферная безопасность»  
Программа: 20.04.01.01 «Безопасность жизнедеятельности в техносфере».  
Тема выпускной квалификационной работы: «Повышение безопасности работающего оборудования с грузом на тросовой подвеске»  
Утверждена приказом по университету № 6744/с от 10.05.2018 г.  
Руководитель ВКР: Л.Н. Горбунова, к.т.н., доцент ПИ СФУ кафедра «ИЭиБЖД»

Исходные данные для ВКР: нормативно-правовая база; справочная литература; учебная литература

Перечень разделов ВКР:

1. Анализ способов и технических устройств гашения колебаний груза
2. Объекты и методы исследования
3. Расчёт риска

Перечень графического или иллюстративного материала с указанием основных чертежей, плакатов, слайдов:

Лист 1 – Таль электрическая. Сборочный чертеж

Лист 2 – Способ предотвращения раскачивания груза на гибком подвесе

Лист 3 – Тельфер электрический канатный марки Т 10232 / Т 10236

Лист 4 – Экспериментальные графики зависимости периода колебания от длины каната и массы груза

Лист 5 - Математическое описание зависимости частоты колебаний от массы груза и длины троса

Руководитель ВКР

\_\_\_\_\_

подпись

Л.Н.Горбунова

инициалы, фамилия

Задание принял к исполнению

\_\_\_\_\_

подпись

Е.А. Уранова

инициалы, фамилия

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018 г.

## КАЛЕНДАРНЫЙ ГРАФИК

выполнения этапов ВКР

Наименование и содержание этапа	Сроки выполнения
Литературный обзор методов повышения безопасности грузоподъемного оборудования.	10.10.2016 – 10.12.2016
Продолжение исследования литературы, патентов, книг и статей по вопросу обеспечения безопасности работающего оборудования с грузом на тросовой подвеске.	12.01.2017 – 12.05.2017
Экспериментальный анализ, сравнение эффективности рассматриваемых методов.	16.10.2017 – 12.12.2017
Оформление лабораторных исследований, расчет риска.	12.01.2018 – 17.03.2018
Оформление пояснительной записки.	20.04.2018 – 12.05.2018
Графическое оформление чертежей, доклада.	17.05.2018 – 10.06.2018

Руководитель ВКР

\_\_\_\_\_  
подпись, дата

Л.Н.Горбунова  
инициалы, фамилия

Задание принял к исполнению

\_\_\_\_\_  
подпись, дата

Е.А.Уранова  
инициалы, фамилия

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	8
1 Современное состояние вопроса и методы повышения безопасности работающего оборудования с грузом на тросовой подвеске .....	10
1.1 Классификация и характеристики грузоподъемных механизмов.....	10
1.1.1 Краны.....	11
1.1.2 Лифты.....	13
1.1.3 Подъемники – вышки.....	13
1.1.4 Тали.....	13
1.1.5 Лебедки.....	14
1.1.6 Домкраты.....	15
1.1.7 Грузозахватные приспособления.....	15
1.2 Опасности, связанные с эксплуатацией грузоподъемных механизмов.....	17
1.3 Анализ способов гашения колебаний подвешенного груза.....	21
2 Объекты и методы исследования.....	27
2.1 Выводы и постановка задач исследования.....	27
2.2 Исследование вертикальных колебаний груза.....	27
2.2.1 Экспериментальная установка для проведения исследований....	27
2.2.2 Проведение экспериментальных исследований и порядок сохранения полученных результатов.....	37
2.3 Обработка результатов экспериментальных исследований.....	44
2.3.1 Колебания, вызванные началом движения груза.....	58
2.3.2 Выводы по результатам исследования вертикальных колебаний груза.....	60
3 Расчёт риска.....	61
Заключение.....	67
Список использованных источников.....	68

## ВВЕДЕНИЕ

Грузоподъемные краны широко используются во всех отраслях промышленности и сельского хозяйства. Несмотря на большую номенклатуру грузоподъемных кранов и разнообразие условий их эксплуатации они имеют общие основные показатели, по которым может быть произведена оценка их качества.

Основными качествами грузоподъемных кранов являются надежность и промышленная безопасность.

Надежность и промышленная безопасность в зависимости от назначения грузоподъемных кранов и условий их эксплуатации определяются такими показателями, как безотказность, долговечность, срок службы, ремонтпригодность и др.

Снижение показателей надежности и промышленной безопасности при эксплуатации грузоподъемных кранов приводит к снижению эффективности их работы, преждевременным отказам, повреждениям, несчастным случаям и авариям.

Число несчастных случаев и аварий, связанных с эксплуатацией грузоподъемных кранов, носит достаточно устойчивый характер, а в ряде случаев и возрастает. Средняя продолжительность временной нетрудоспособности из-за несчастных случаев, происшедших при эксплуатации грузоподъемных кранов превышают временную нетрудоспособность в целом по стране на 34 %.

Основными причинами повышенного уровня аварийности и травматизма при эксплуатации грузоподъемных кранов являются:

- неудовлетворительный уровень организации и функционирования системы управления промышленной безопасностью;
- низкий уровень исполнительской дисциплины руководителей, ответственных за безопасность труда;
- недостаточная профессиональная квалификация обслуживающего, инженерно-технического и рабочего персонала;
- несовершенство технологий и средств противоаварийной защиты;
- низкий уровень автоматизации погрузочно-разгрузочных, транспортных и складских работ;
- низкий уровень технической готовности объектов к безопасной эксплуатации в связи с их значительным физическим и моральным старением.

Основные фонды объектов экономики, в том числе и грузоподъемных кранов, не обновлялись последние 12–15 лет и к настоящему времени более 80 % грузоподъемных кранов из почти 280 тыс. единиц, находящихся в эксплуатации в Российской Федерации, исчерпали нормативные сроки эксплуатации, требуют замены или модернизации. Однако обновление производится крайне медленно: при норме 8–10 % темпы ежегодного обновления кранового парка не превышают 1 % в год, что приводит



к дальнейшему увеличению доли грузоподъемных кранов с истекшими сроками службы.

Такое положение ведет к дальнейшему снижению общего технического уровня эксплуатируемых грузоподъемных кранов, снижению промышленной безопасности и приводит к авариям и несчастным случаям.

Для обеспечения безопасной работы грузоподъемные краны оснащаются эффективными средствами противоаварийной защиты – многофункциональными приборами и устройствами безопасности. Однако, анализ производственного травматизма и аварийности показывает, что более четверти аварий и несчастных случаев связаны с неисправностью приборов и устройств безопасности.

Одним из основных технических устройств, обеспечивающих надежность и промышленную безопасность грузоподъемных кранов, являются технические устройства гашения вертикальных колебаний груза.

Как известно, при резком включении тормоза подъемно-транспортной машины с тросовой подвеской груза при подъеме или опускании последнего возникают ударные нагрузки, которые вызывают вертикальные колебания. Указанные колебания снижают точность позиционирования груза и влекут за собой усталостные разрушения металлоконструкций машины. В связи с этим, актуальной задачей подъемно-транспортного машиностроения уже много лет является задача создания устройств, устраняющих колебания и оказывающих существенное влияние на динамику торможения.

Обеспечение надежности, долговечности и эффективности использования путем конструктивного усовершенствования механической части и технических устройств, устраняющие вертикальные колебания груза, повысит промышленную безопасность при эксплуатации грузоподъемных машин.

На защиту выносятся следующие положения, изложенные в диссертационной работе:

- математическая зависимость периода вертикальных колебаний груза от массы груза и длины каната;
- технические устройства двухступенчатого торможения, устраняющие вертикальные колебания груза.

# **1 Современное состояние вопроса и методы повышения безопасности работающего оборудования с грузом на тросовой подвеске**

## **1.1 Классификация и характеристики грузоподъемных механизмов**

Применение в промышленности большого количества кранов обеспечивает ведение технологических процессов, механизацию труда, определяет техническое совершенствование и степень интенсификации производства, его производительность, затраты на выпускаемую продукцию и другие технико-экономические показатели, имеет большое народнохозяйственное значение.

Многообразие работ по подъему и перемещению грузов, а также специальных технологических операций вызывает необходимость применения кранов различных назначений и конструкций.

Машины грузоподъемные - это отдельная категория высокотехнологичных специальных автоматических и механических устройств, которые ориентированы на использование общего применения. В связи с необходимостью постоянного использования этих машин, повышается и риск выхода их из строя. Износ всех грузоподъемных механизмов необходимо отслеживать и проводить мероприятия связанные с диагностикой и ремонтом во избежание аварийных ситуаций.

По своим конструкционным особенностям выделяются следующие виды подъёмно-транспортного оборудования (ПТО):

- грузоподъемные краны;
- краны-трубоукладчики;
- краны-манипуляторы;
- лифты;
- тали;
- лебедки;
- устройства грузозахватные;
- цепи для подъёмно-транспортного оборудования;
- подъемники (вышки);
- строительные подъемники;
- эскалаторы;
- дороги канатные, их агрегаты, механизмы и детали;
- конвейеры пассажирские;
- металлоконструкции для подъёмно-транспортного оборудования.

По способу и методу перемещения они бывают: передвижные, самоходные, прицепные, самоподъемные, стационарные и приставные. Из них наиболее востребованными считаются башенные передвижные и стреловые самоходные краны. В свою очередь и передвижной класс данных кранов разделяется на виды по конструкциям ходовых устройств: шагающие, рельсовые и железнодорожные. Кроме различий по классификации и основным

признакам, вышеперечисленные виды грузоподъемных машин различаются по уровню маневренности поворота, конструкции грузозахватного элемента и рабочего оборудования [1, 2].

### 1.1.1 Краны

Грузоподъемный кран - это машина циклического действия, которая предназначена для захвата, удержания, перемещения, опускания и подъема груза в пространстве, груз при этом подвешен с помощью крюка или удерживается другим грузозахватным предметом. По конструкции можно выделить следующие типы грузоподъемных кранов (представлены на рисунке 1):

- краны стрелового типа;
- краны мостового типа;
- краны кабельного типа.

Наиболее востребованными из них являются консольные, козловые и мостовые грузоподъемные краны. Кран мостовой - это металлическое сооружение, которое состоит из основных двух устройств: моста и тележки. Мост необходим для перемещения груза, совместно с тележкой вдоль цеха по подкрановым путям, которые уложены на выступах верхней части колонн или стен. Чтобы бесперебойно перемещаться, он оснащен ходовыми колесами, которые приводит в действие специальный механизм, который имеет питание по гибким кабелям, висящим в виде петель на канате.

Все вышеуказанные типы грузоподъемных кранов производятся по одной единой схеме: состоят из механизмов подъема груза, базовой металлической конструкции, механизмов перемещения крана и вдобавок обладают электроприводами с системой управления и необходимыми тележками.

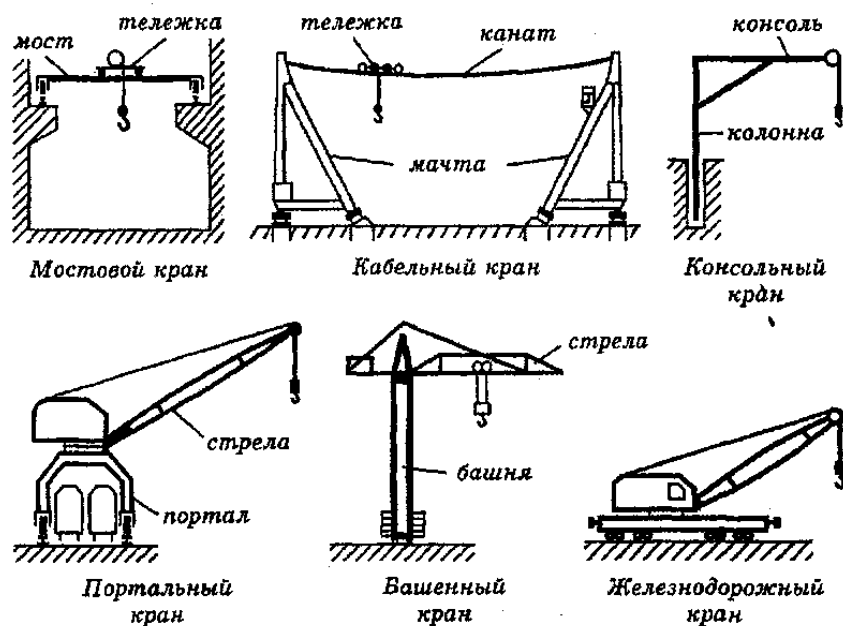


Рисунок 1 – Виды грузоподъемных кранов

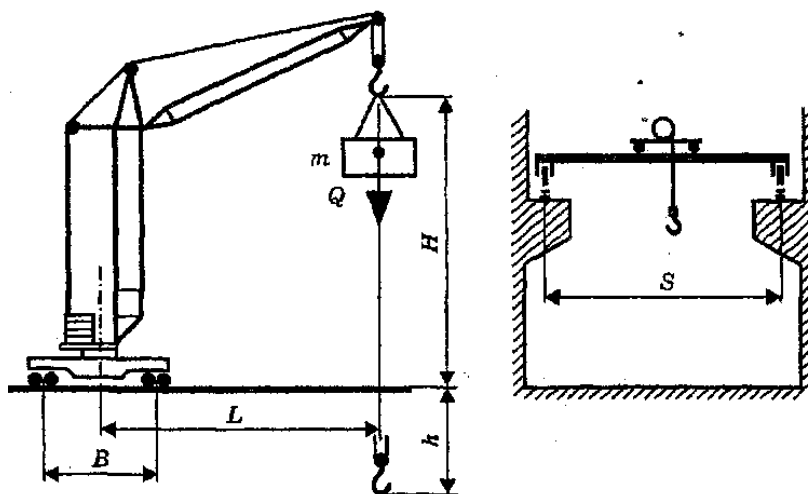


Рисунок 2 – Основные параметры кранов

Основные параметры кранов (рисунок 2):

1) Грузоподъемность  $\tau$  - наибольшая масса груза, на подъем и перемещение которого кран рассчитан в заданном режиме работы. В соответствии с международными стандартами различают следующие виды грузоподъемности:

- грузоподъемность полезная  $m_n =$  масса груза;
- грузоподъемность нетто  $m_n = \tau_n +$  масса съемных грузозахватных приспособлений;
- грузоподъемность полезная  $m_n =$  масса груза;
- грузоподъемность миди  $m_m = \tau_n +$  масса несъемных грузозахватных приспособлений;
- грузоподъемность брутто  $\tau_b = \tau_m +$  масса подъемного средства (канаты, цепи).

2) Вылет  $L$  - расстояние по горизонтали от оси вращения поворотной части до вертикальной оси грузозахватного органа.

3) Грузовой момент  $M = Q \cdot L$  (т·м) - произведение величин грузоподъемности  $Q$  и соответствующего ей вылета  $L$ .

4) Пролет  $S$  - расстояние по горизонтали между осями рельсов кранового пути для кранов мостового типа. Вылет и пролет - это параметры, характеризующие величину зоны, обслуживаемой краном.

5) Высота подъема  $H$  - расстояние от уровня стоянки крана до грузозахватного органа, находящегося в верхнем положении. Для мостовых кранов высота подъема определяется от уровня пола.

6) Глубина опускания  $h$  - расстояние по вертикали от уровня стоянки крана до грузозахватного органа, находящегося в нижнем рабочем положении.

7) Колея  $K$  - расстояние по горизонтали между осями рельсов или колес ходовой части крана стрелового типа.

8) База  $B$  - расстояние между осями опор (ходовых тележек) крана, измеренное вдоль пути.

9) Группа классификации (режима) - характеристика механизма или крана, учитывающая его использование по грузоподъемности, а также по времени или числу циклов работы. Международные стандарты предусматривают восемь групп классификации (режимов) от А1 до А8 [1, 2].

### **1.1.2 Лифты**

Одними из наиболее распространенных видов грузоподъемных машин являются грузоподъемные лифты. Они выполняют разнообразные задачи: доставляют людей, а также помогают им доставлять инструменты и материалы на необходимую высоту.

#### **а) Грузоподъемные и пассажирские лифты**

Данное оборудование изготавливается для вертикальной транспортировки грузов с проводником, а также для перемещения его необходимо наличие несущей шахты. Оно держится исключительно за счет собственных конструкций (стоек, мачт) и прикрепляется к перекрытию либо к стене, лишь в нескольких местах, что дает возможность монтировать эти конструкции не только в саму шахту, но и непосредственно к стене здания или на улицу.

#### **б) Малые грузовые лифты**

Малые грузовые лифты (МГЛ) предназначены для транспортировки товара (груза) с одного уровня на другой в производственных, складских, торговых и других зданиях.

#### **в) Пассажирские лифты**

Лифты пассажирские предназначены для подъема и спуска пассажиров в жилых и общественных зданиях [3].

### **1.1.3 Подъемники-вышки**

Подъемник-вышка - это вид грузоподъемной машины, транспортирующая грузы по вертикальному, либо близкому к вертикальному направлению.

В большинстве случаев, подъемник-вышка свободно перемещается, она не крепится к объекту и дает возможность легко передвигаться. Для движения в строении подъемника установлены колеса, а во время работ его закрепляют на дополнительные опоры. Предназначается он для работ на довольно небольшой высоте - до 25 метров. [3,4].

### **1.1.4 Тали**

Тали представляют собой специальный грузоподъемный механизм, предназначенный для подъема или опускания грузов при осуществлении грузоподъемных работ. Как правило, тали классифицируют на стационарные и передвижные, а также ручные и электрические – тельферы (представлена

на рисунке 3). Учитывая эти признаки, данные устройства подразделяются на несколько подгрупп:

- ручные стационарные;
- ручные передвижные;
- электрические стационарные;
- электрические передвижные.

Однако таль может быть составляющей частью грузоподъемного крана. Они различаются наличием у крана концевых тележек и пролетных конструкций, которые отсутствуют у тали [4].



Рисунок 3 – Таль электрическая

### 1.1.5 Лебедки

Грузоподъемная лебедка предназначена для прямолинейного перемещения грузов. Её применяют в ходе строительных и монтажных работ или же в цехах промышленных предприятий. Стальной канат используют обычно в качестве тягового органа. По типу привода грузоподъемная лебедка может быть ручная, гидравлическая и электрическая, а по конструкции однобарабанная и многобарабанная, также классифицируют лебедки односкоростные и многоскоростные.

Обычно грузоподъемные механизмы данного типа представляют собой устройства, подвешенные к специальным козлам, потолочной балке или и треногам. Помимо грузоподъемных лебедок и домкратов, на практике также используются грузоподъемные тали, которые в свою очередь бывают червячные, рычажные и шестеренные, однако их всех объединяет одно - на них в обязательном порядке устанавливаются тормозные механизмы. Грузоподъемными элементами могут служить круглозвенные цепи или канаты.

Управление электроталью осуществляется через свисающий пульт [2].

### 1.1.6 Домкраты

Этот переносной, стационарный, передвижной механизм грузоподъемный является идеальной техникой для подъема и фиксации на заданной высоте любых тяжелых предметов. Его можно использовать, как и самостоятельное устройство - для строительных и ремонтных работ и как дополнительную установку в кранах, подъемниках, прессах.

По принципу работы домкраты делятся на:

- реечные;
- винтовые (рисунок 4);
- гидравлические;
- пневматические.

По своему типу привода различаются домкраты ручные и электрические. По своей грузоподъемности домкраты бывают до сотен тонн, а по высоте от нескольких сантиметров до нескольких метров. [2,3].

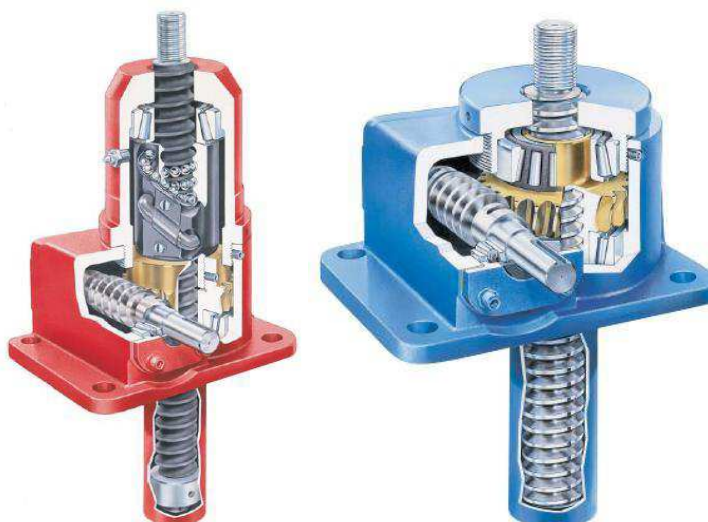


Рисунок 4 – Винтовые домкраты

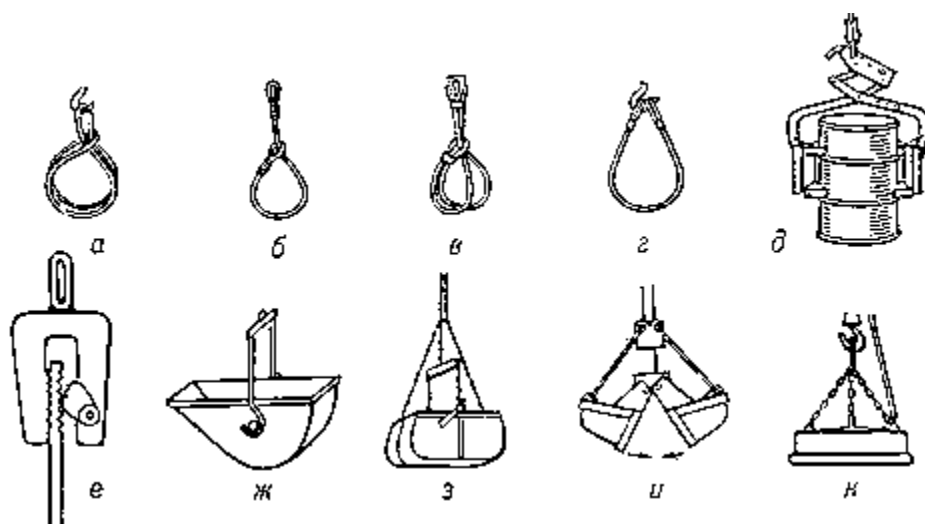
### 1.1.7 Грузозахватные приспособления

Для подбора грузоподъемных машин и механизмов, а также для временного закрепления грузов, поднимаемых и перемещаемых машинами при погрузке, разгрузке, обвязке и в процессе монтажа используют грузозахватные устройства и приспособления.

Приспособления классифицируются по их взаимодействию с поднимаемыми и перемещаемыми грузами. Таким образом, их подразделяют на следующие группы:

- поддерживающие - обеспечивают захват и удержание груза при его подъеме и перемещении, благодаря гибким или жестким элементам;

- затяжные - обеспечивают захват и удержание груза при его подъеме и перемещении путем обхвата гибкими элементами;
- зажимные - обеспечивают захват и удержание груза при его подъеме и перемещении за счет сил сцепления, возникающих в результате взаимодействия рычагов;
- притягивающие - обеспечивают захват и удержание груза при его подъеме и перемещении в результате действия электромагнитных сил;
- зачерпывающие - обеспечивают захват и удержание груза при его подъеме и перемещении путем зачерпывания ковшовыми или грейферными захватами.



а, б, в, г — простейшие грузозахватные приспособления (способы вязки канатов с ковшами); д — быстродействующий клещевой захват; е — эксцентриковый захват; ж — бадья; з — кубель; и — грейфер; к — электромагнит.

Рисунок 5 - Грузозахватные приспособления

#### а) Стропы

В данную конструкцию входят несколько стальных или текстильных канатов, цепей или других прочных материалов, на конце которых фиксируется специальное кольцо или крюк. На изготовление строп используют различные материалы, обуславливает это то, что их существует несколько видов:

- стальные;
- канатные;
- грузовые;
- цепные;
- крановые;
- текстильные.



Самыми широко применимыми являются цепные и стальные стропы грузоподъемные. Такие устройства намного безопаснее, долговечнее, не поддаются деформации и устойчивее к любым температурам, чем канатные.

#### б) Крюки

Грузозахватные устройства и приспособления в подъемных машинах соединяют перемещаемый груз с тяговыми органами. К ним относятся крюки грузоподъемные, грейферы, электромагниты, а также специальные захваты для штучных грузов. Данные устройства различной грузоподъемности выпускаются отечественной промышленностью по ГОСТ 6619-75, ГОСТ 6627-7 и ГОСТ 6628-73. Своеобразные крюки производят ковкой или штамповкой из малоуглеродистой стали 20, что гарантирует от внезапного разрушения изделия. Крюк укрепляют к подвеске с помощью резьбового соединения.[1, 4].

### **1.2 Опасности, связанные с эксплуатацией грузоподъемных механизмов**

Основные виды опасности, опасных ситуаций и опасных случаев, которые могут возникнуть во время нормальной эксплуатации и в случае нарушения условий нормальной эксплуатации грузоподъемных кранов и машин, грузоподъемных пристроил, тары и люлек и которые составляют опасность для обслуживающего и ремонтного персонала:

– механические виды опасности, связанные с подъемными операциями грузоподъемными кранами и машинами, грузозахватными устройствами, тарой и люльками и вызваны:

а) падением груза, столкновением, опрокидыванием крана (машины) в результате:

1) недостаточной стойкости крана или машины;

2) неконтролируемой загрузки, перегрузки, превышения опрокидного грузового момента;

3) неконтролируемой амплитуды движения механизмов и составных частей крана;

4) неожиданного или непредвиденного движения груза;

5) несоответственных грузоподъемных органов, устройств и тары;

б) столкновение нескольких кранов или машин;

б) доступом работников в грузоподъемные органы, устройства, тару и люльки;

в) недостаточной механической прочностью составных частей и деталей;

г) несоответственной конструкцией шкивов и барабанов;

д) неправильным выбором цепей, канатов, грузоподъемных органов, устройств, тары и люлек и их неправильной установкой (навешиванием) на кран или машину;

е) неконтролируемым опусканием груза механизмом с фрикционным тормозом;

ж) несоответственными условиями для установки, монтажа, демонтажа, наладки, испытания, эксплуатации, ремонта, реконструкции и модернизации;

з) действием груза на работников (нанесение удара грузом или противовесом).

– механические виды опасности, связанные с составными частями грузоподъемных кранов и машин, грузозахватными устройствами, тарой и люльками, с грузами, которые перемещаются, и обусловлены, например, формой (острые покромки, режущие элементы, остроконечные части и тому подобное), местом установки, массой и стойкостью (потенциальная энергия частей, что могут быть приведены под действием силы веса), массой и скоростью (кинетическая энергия частей во время контролируемого или неконтролируемого движений), ускорением, недостаточной механической прочностью, что может привести к опасным поломкам или к разрушениям, накоплением энергии внутри грузоподъемного крана или машины (в упругих элементах, в жидкостях, газах, которые находятся под давлением, в условиях вакуума), нарушением безопасных расстояний:

а) сдавливание;

б) порез;

в) рассечение или отсечение;

г) намотки, втягивания или увлечения частей одежды, конечностей и тому подобное;

д) удар;

е) укол или прокалывание;

ж) разбрызгивание жидкости под высоким давлением;

з) потеря стойкости элементов;

и) скольжение, преткновение или падение (на кране или из крана) работников.

– электрические виды опасности могут привести к травмам или смерти от электрошока или ожогов, а также до того, что в результате фактора неожиданности, вызванного электрическим ударом, работник упадет (упустит инструмент, вещи, материалы и тому подобное) по причине:

а) контакта работников с частями, которые обычно находятся под напряжением (прямой контакт);

б) контакта работников с частями, которые находятся под напряжением через неисправность (непрямой контакт);

в) приближение работников к частям, которые находятся под высоким напряжением;

г) непригодности изоляции для предусмотренных условий использования;

д) электростатических процессов, например контакта работников с электрически заряженными частями;

е) термического излучения или таких процессов, как разбрызгивание расплавленных веществ, химических процессов во время коротких замыканий,

перегрузок и тому подобное;

ж) удара молнии.

– термические виды опасности, что приводят к ожогам, обмораживания и других травм, вызванных:

а) контактом работников с предметами или материалами с самой высокой или низкой температурой;

б) пламенем или взрывом;

в) излучением источников тепла;

г) работой в горячей или холодной производственной среде.

– опасность, вызванная шумом, может привести к:

а) длительного нарушения остроты слуха;

б) звону в ушах;

в) усталости, стрессу, нарушению равновесия, ослаблению внимания

и т.п.

– опасность, вызванная вибрацией, может привести к значительным нарушениям здоровья (расстройство сосудистой и нервной систем, нарушение кровообращения, болезни суставов и т.п.);

– опасность, вызванная материалами, веществами, используемыми или выделяемыми краном, а также грузами, которые он перемещает, в результате:

а) вдыхания, заглатывания обслуживающим и ремонтным персоналом вредных для здоровья жидкостей, газов, аэрозолей, паров и пыли, а также их контакта с кожей, глазами и слизистой оболочкой, проникновение через;

б) огне- и взрывоопасности.

– опасность, вызванная пренебрежением эргономичных требований и принципов во время разработки машин:

а) неудобная рабочая поза или избыточная или повторяемая физическая нагрузка на организм работника;

б) пренебрежение средствами индивидуальной защиты;

в) недостаточное местное освещение;

г) психологическая перегрузка и стресс, возникающие во время рабочего процесса, процесса контроля за работой крана или машины или технического обслуживания в пределах использования по назначению;

д) ошибки, неправильное поведение работника;

е) неудобная конструкция, размещение или маркировка элементов управления, приборов контроля.

– опасность, вызванная неожиданным пуском, неожиданным превышением скорости в результате:

а) выхода из строя или нарушения в работе системы управления;

б) прекращения подачи энергии и возобновления энергоснабжения после перерыва;

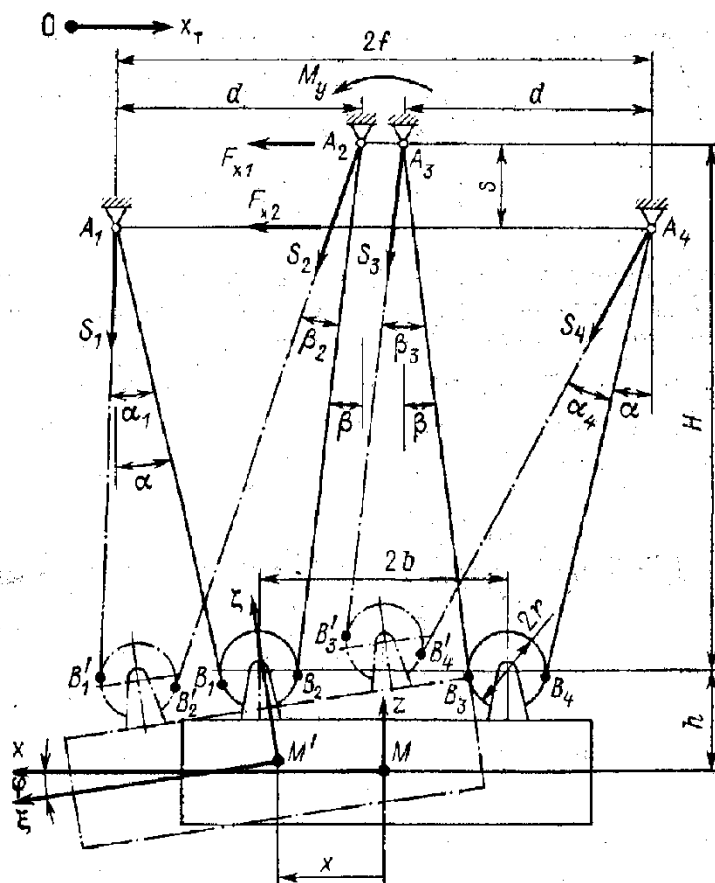
в) внешнего воздействия на электрооборудование;

г) ошибки в программном обеспечении;

д) ошибки машиниста крана или машины.

- опасность, вызванная ошибками (дефектами) во время составления или монтажа крана или машины;
- опасность, вызванная поломками во время работы, в результате:
  - а) усталостного разрушения;
  - б) недопустимой величины деформации;
  - в) критического срабатывания;
  - г) коррозии.
- опасность, вызванная предметами, падающими с высоты (инструмент, детали крана и т.п.);
- опасность, вызванная поступательным движением крана, машины, грузовых тележек:
  - а) движение во время запуска двигателя;
  - б) движение при отсутствии машиниста на рабочем месте;
  - в) движение при отсутствии надежного закрепления всех составных частей, деталей;
  - г) слишком высокая скорость крана, машины, грузовой тележки;
  - д) слишком высокие колебания (крана, груза) во время движения;
  - е) недостаточная возможность крана или машины к замедлению, выключению, остановке.
- опасность, связанная с рабочим местом машиниста крана или машины (включая место водителя):
  - а) падение во время попытки занять или покинуть рабочее место;
  - б) выброс газов или нехватка кислорода на рабочем месте;
  - в) пожар (воспламеняемость кабины)
  - г) механические виды опасности на рабочем месте (контакт с колесами, наезд, падение предметов, проникновения предметов, поломка деталей, вращающихся с высокой скоростью, контакт работников с составными частями, деталями крана или машины);
  - д) недостаточный обзор с рабочего места;
  - е) недостаточное освещение;
  - ж) шум и вибрация на рабочем месте;
  - з) отсутствие возможности эвакуации или аварийного выхода;
- опасность, связанная с системой управления:
  - а) неправильное размещение органов управления;
  - б) неправильная конструкция органов управления и режим их работы;
- опасность, связанная с источниками и передачей энергии:
  - а) опасность, связанная с двигателем и аккумулятором;
  - б) опасность, связанная с передачей энергии между оборудованием крана или машины.
- опасность, связанная с третьими лицами:
  - а) несанкционированный запуск или эксплуатация;
  - б) отсутствие или несоответствие визуальных или звуковых предупредительных сигналов;
- опасность, связанная с неблагоприятными естественными факторами:

- а) ветровая нагрузка;
- б) снежная нагрузка;
- в) гололед;
- г) сейсмическая нагрузка;
- д) грозовые электрические разряды [5-14].



$A_i$  – точки касания канатами барабана, блоков или шарниры крепления канатов;  
 $B_i$  и  $B'_i$  – точки касания канатами блоков подвески в положении равновесия и при отклоненном положении груза соответственно;  $M$  и  $M'$  – центр масс груза в положении равновесия и в процессе колебания соответственно;  $H$  – длина подвеса груза;  $h$  – расстояние от центра масс груза до плоскости, в которой лежат оси блоков;  $r$  – радиус блоков;  $f$ ,  $d$ ,  $b$  и  $s$  – характерные размеры подвеса груза;  $\alpha$  и  $\beta$  – углы наклона канатов к вертикали в положении равновесия;  $\alpha_i$  и  $\beta_i$  – углы отклонения канатов от положения равновесия.

Рисунок 6 – Схема раскачивания груза на пространственном подвесе

### 1.3 Анализ способов и технических устройств гашения вертикальных колебаний груза

Как известно, при резком включении тормоза подъемно-транспортной машины с тросовой подвеской груза при подъеме или опускании последнего

возникают ударные нагрузки, которые вызывают вертикальные колебания. Указанные колебания снижают точность позиционирования груза и влекут за собой усталостные разрушения металлоконструкций машины. В связи с этим, актуальной задачей подъемно-транспортного машиностроения в течение уже многих лет является задача создания устройств, устраняющих колебания и оказывающих существенное влияние на динамику торможения.

Основным направлением в развитии современного грузоподъемного оборудования является разработка качественно новых и модернизация существующих механизмов с целью повышения надежности и безопасности.

Одним из таких направлений является создание устройств, позволяющее снизить раскачивание тросового подвеса подъемного крана и разработка способов предотвращения раскачивания груза. Колебательный процесс грузового подвеса в вертикальной и горизонтальной плоскостях ведет к снижению производительности грузоподъемного механизма, так как оператору требуется много времени на наводку и посадку груза в проектное положение. Раскачивающийся груз вызывает колебания металлоконструкции, это увеличивает напряженность труда оператора, оказывает на него вредное и опасное воздействие, усложняет работу стропальщиков на производственной площадке, снижая при этом темп работ. Канаты подвеса при колебаниях в разных плоскостях постоянно скручиваются и раскручиваются, что приводит к преждевременному износу и внезапному обрыву, а это, в свою очередь может стать причиной несчастного случая.

Снижение раскачивания груза на канате строительного крана напрямую зависит от снижения периода и амплитуды его колебаний. Из теоремы об изменении периода маятника от присоединенной массы следует, что путем разбиения каната на две части можно значительно сократить период и амплитуду колебаний груза. Это позволит увеличить производительность грузоподъемных работ.

Можно выделить несколько изобретений, способствующих повышению производительности крана. Одним из них является аэродинамический стабилизатор-наводчик груза подъемного крана, который содержит многолопастную воздушную крыльчатку с быстроходным электроприводом. Устройство позволяет сократить скорость и время наводки и установки груза в требуемое положение. Гашение колебаний груза и его перемещение в определенных пределах достигается периодическим изменением направления вектора тяги воздушной крыльчатки стабилизатора.

С той же целью разработано устройство, обеспечивающее автоматическое регулирование процесса уравнивания груза на канате башенного крана. Данное изобретение содержит дополнительный асинхронный двигатель, который вращается относительно вертикальной оси в направлении, противоположном вращению первого. Устройство содержит датчик углового отклонения груза по вертикали, который через микропроцессорный блок управления соединен с асинхронными двигателями. Результат достигается тем, что во время отклонения строительного каната и груза, один

из асинхронных двигателей начинает вращение совместно с валом вокруг вертикальной оси, соединенный с датчиком углового отклонения груза от вертикальной оси через микропроцессорный блок управления, и за счет возникающего гироскопического эффекта канат строительного крана стремится вернуться в исходное положение.

В основе принципа действия другого устройства гашения колебаний груза, подвешенного на канате строительного крана, также лежит гироскопический эффект. За счет расширения конструктивных особенностей повышается эффективность гашения колебаний в двух взаимно перпендикулярных вертикальных плоскостях. Результат достигается наличием в устройстве горизонтальной и вертикальной рам с асинхронным двигателем, установленным в последней.

В технической литературе представлены способы управления и защиты грузоподъемных кранов от колебаний. Один из таких способов заключается в том, что положения подвижного оборудования крана, инерционных показателей и его фактических скоростей контролируются посредством датчиков. После обработки сигналов датчиков цифровым вычислительным устройством формируются сигналы управления приводами механизмов перемещения оборудования крана.

Довольно часто применяется способ, состоящий в подведении грузозахватного органа к грузу и дальнейшей его строповки. Подвешенная на канатах крюковая обойма выполняет функции отвеса и позволяет оператору установить точку подвеса над грузом с достаточно высокой точностью. Цифровое вычислительное устройство прогнозирует величину горизонтального перемещения точки под воздействием веса груза, определяет изменение вылета, которое должно произойти вследствие деформации стрелового оборудования крана при подъеме груза и формирует сигналы управления приводом механизма телескопирования, подъема стрелы или перемещения грузовой тележки крана, обеспечивая автоматическое уменьшение вылета на прогнозируемую величину.

Результатами применения данной системы являются повышение точности перемещения груза, уменьшение времени перемещения за счет повышения ускорений, скоростей и перемещений верхней точки канатного подвеса груза, повышена эффективности гашения колебаний груза и точности его наведения.

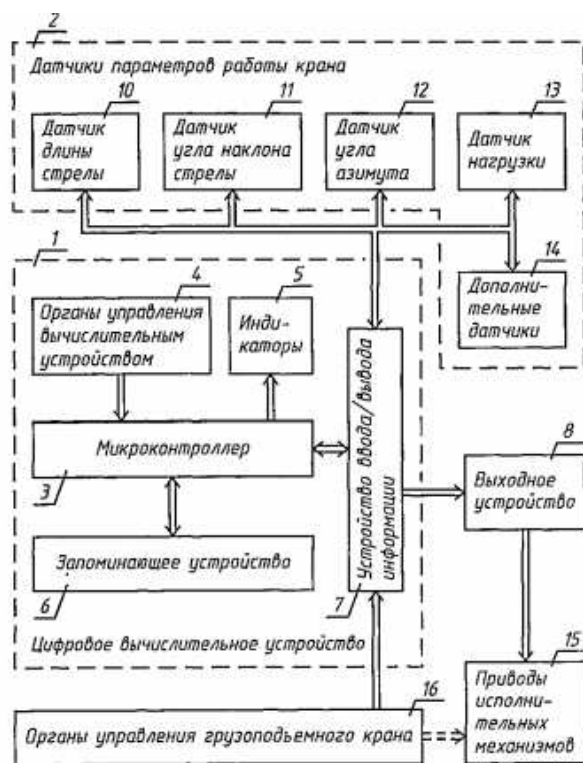
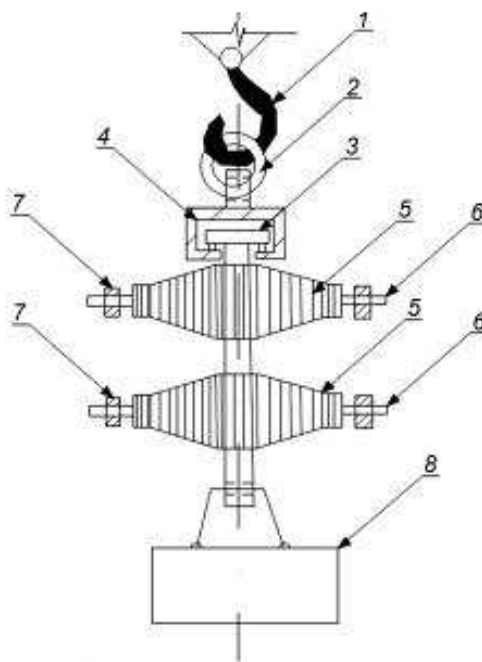


Рисунок 7 - Функциональная схема системы управления и защиты грузоподъемного крана



1 – крюк; 2 – переходное кольцо; 3 – подпятник; 4 – подвесная скоба; 5 – асинхронный двигатель; 6 – две взаимно перпендикулярные пары металлических стержней; 7 – грузила; 8 – груз.

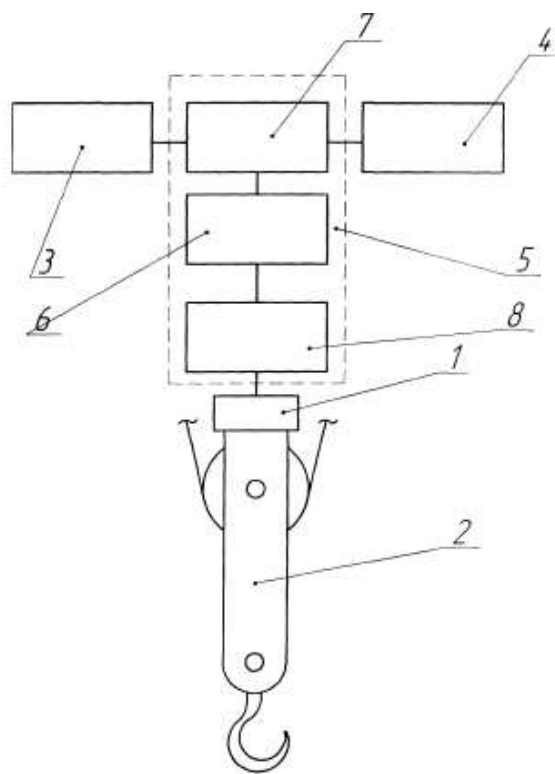
Рисунок 8 - Устройство для гашения колебаний груза, подвешенного на канате строительного крана



Поскольку демпфирующие свойства применяемых виброгасителей в значительной степени зависят от того, в какой среде происходят колебания используемого в них элемента массы, размещая указанный элемент в магнитореологической суспензии и управляя ее вязкостью, можно сравнительно легко настраивать виброгаситель на ту или иную частоту собственных колебаний. Подстраивая частоту собственных колебаний под частоту вынужденных колебаний груза и крюковой подвески, нетрудно обеспечивать резонанс и, как следствие, эффективное рассеивание энергии вынужденных колебаний и быстрое виброгашение.

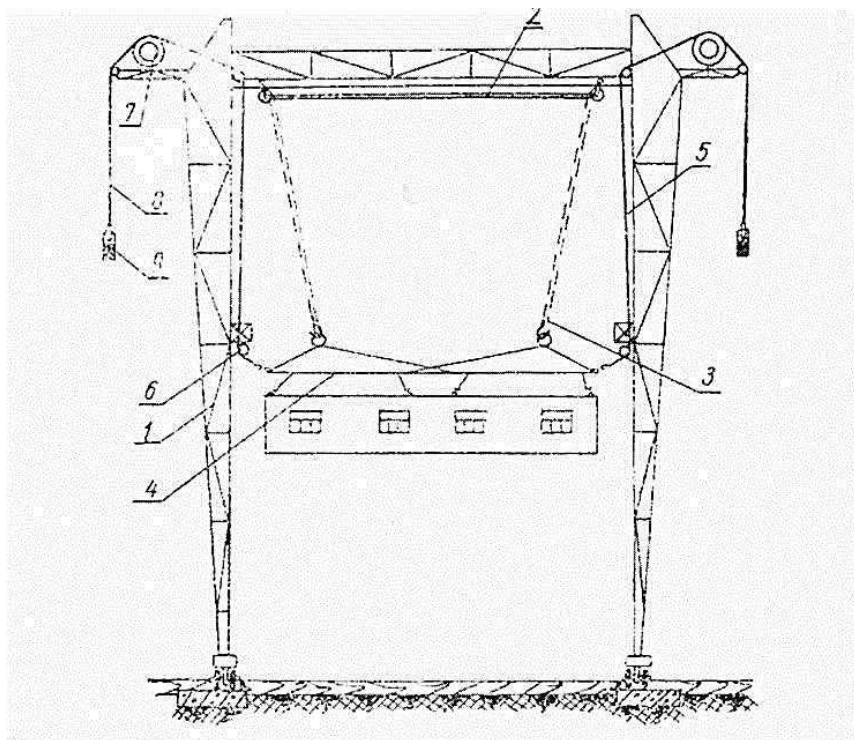
Технически это реализуется путем установки на крюковой подвеске крана, наряду с магнитореологическим виброгасителем, датчика частоты колебаний, который через специальное управляющее устройство, соединяется с электромагнитной системой, создающей требуемое магнитное поле.

В настоящее время с развитием нанотехнологий производство магнитореологических суспензий становится все более и более простым. А потому, гашение колебаний с помощью магнитореологических виброгасителей оказывается все более и более перспективным.



1 - магнитореологический виброгаситель; 2 - крюковая подвеска; 3 - датчик массы груза; 4 - датчик длины каната; 5 - микропроцессорное устройство управления; 6 - вычислитель; 7 - аналого-цифровой преобразователь; 8 - цифро-аналоговый преобразователь.

Рисунок 9 – Схема виброгасителя



1 – козловой кран; 2 – траверса; 3 - крюковые подвески; 4 - траверса захватного органа; 5 - петли для соединения с расчалочными канатами; 6 – отводные блоки; 7- барабаны; 8 – канаты; 9 – противовесы.

Рисунок 10 – Устройство для предотвращения раскачивания поднимаемых краном грузов

Следующее рассматриваемое устройство используется для предотвращения раскачивания поднимаемых краном грузов, преимущественно строительных блоков, включающее расчалочные канаты, одни концы которых прикреплены к грузозахватному устройству, а вторые нагружены противовесами, отличающееся тем, что, с целью обеспечения фиксации положения груза в период остановки подъемного механизма крана, связи концов расчалочных канатов с нагружающими их противовесами выполнены посредством промежуточных звеньев в виде барабанов, снабженных тормозами, сблокированными с подъемным механизмом, и навитых на эти барабаны отрезков канатов, свободные концы которых несут грузы противовесов [15-34].

## **2 Объекты и методы исследования**

### **2.1 Выводы и постановка задач исследования**

1. Надежность и промышленная безопасность грузоподъемного крана изменяется в течение всего срока службы в связи с возникновением повреждений механического (разрывы металла, вогнутости, вмятины, выпучины) и коррозионного (трещины, раковины, коррозионные разъедания) характера. Повреждения возникают и развиваются во времени и зависят от срока эксплуатации, интенсивности динамических воздействий и соблюдения правил технической эксплуатации. По мере изнашивания деталей, узлов, механизмов, старения металлоконструкций надежность и промышленная безопасность грузоподъемных кранов снижается.

2. Анализ производственного травматизма и аварийности показывает, что более четверти аварий связаны с техническими средствами противоаварийной защиты – приборами и устройствами безопасности.

3. Анализ производственного травматизма при эксплуатации грузоподъемных кранов показал, что более половины несчастных случаев со смертельным исходом произошло по организационным причинам, в основном из-за неэффективности или отсутствия производственного контроля за соблюдением требований промышленной безопасности. Среди технических причин основной является неисправность приборов и устройств безопасности.

На основании изложенных выводов была определена следующая цель работы: исследование состояния промышленной безопасности грузоподъемных кранов и разработка мероприятий и предложений по повышению безопасности их эксплуатации.

Указанная цель определила следующие задачи работы:

– исследование влияния на уровень предаварийных состояний, аварийности и производственного травматизма вертикальных колебаний груза на тросовой подвеске;

– разработка способов и технических устройств по повышению промышленной безопасности при эксплуатации грузоподъемных кранов.

### **2.2 Исследование вертикальных колебаний груза**

#### **2.2.1 Экспериментальная установка для проведения исследований**

Как известно, при резком включении тормоза подъемно-транспортной машины с тросовой подвеской груза при подъеме или опускании последнего возникают вертикальные колебания. Указанные колебания снижают точность позиционирования груза и влекут за собой усталостные разрушения металлоконструкций машины. В связи с этим, актуальной задачей подъемно-транспортного машиностроения уже много лет является задача создания автоматических устройств торможения, устраняющих колебания,

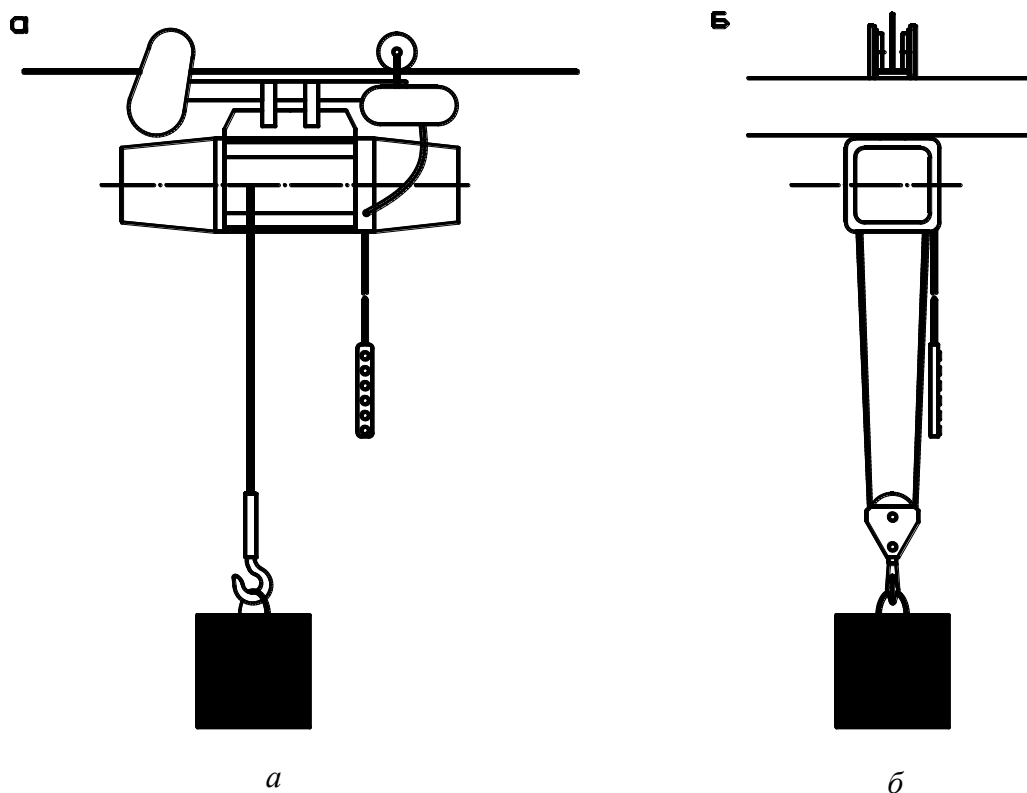
и повышающих промышленную безопасность эксплуатации подъемно-транспортных машин.

Цель проведения исследований – установление зависимости периода колебания от высоты подвеса и массы груза. Для выполнения исследований была использована электроталь грузоподъемностью 0,5 т (рисунок 11).

Электроталь обеспечивает скорость подъема груза 0,13 м/с и питается переменным напряжением 380 В промышленной частоты 50 Гц. Она состоит из механизма подъема, механизма горизонтального передвижения типа тележки и крюковой подвески, содержащей крюк со шкивом, подвешенный на двухстропном многожильном стальном канате диаметром 5 мм типа ЛК – 0 (ГОСТ 3063–80). Механизм подъема – основная часть электротали, используемая в исследованиях, включает в себя корпус, барабан с винтовой нарезкой, асинхронный электродвигатель, редуктор и дисковый тормоз с приводом от электромагнита постоянного тока. Электромагнит запитывается последовательно с одной из фаз обмотки электродвигателя через диоды, установленные в шкафу управления. Шкаф закреплен на корпусе механизма подъема и снабжен кнопочным подвесным пультом управления. По команде от пульта электродвигатель включается, электромагнит притягивает нажимной диск тормоза, и тормоз отключается. При выключении двигателя происходит обратное.

На первом этапе экспериментов с помощью механизма подъема тали устанавливалась определенная длина каната  $L_1$ , мм. Затем на крюк подвешивался груз массой  $m$ , кг, и с помощью мерной ленты замерялась длина каната  $L_2$ . После этого определяли абсолютное удлинение  $\Delta L = L_1 - L_2$  и относительное удлинение каната  $S = \Delta L / L_1$ . Так были проведены измерения при различных грузах  $m$ . Данные, приведенные в таблице 1, показывают, что при постоянной и относительно небольшой массе груза относительная деформация каната  $S$  более или менее постоянна. С увеличением же масс она уже не остается таковой. Переход значений  $S$  от постоянных к непостоянным происходит в диапазонах масс от 40 до 120 кг и длине каната от 100 до 200 мм.

Иначе говоря, эти диапазоны охватывают различные виды поведения каната. Исходя из этого, дальнейшие исследования проводились примерно в этих же диапазонах масс и длин.



в

*а* – схема (главный вид); *б* – схема (вид слева); *в* – общий вид

Рисунок 11 - Электроталь канатная

Таблица 1 - Результаты экспериментальных исследований в статике

m	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	ΔL	S
40	205,4	205,8	0,4	0,00195
	162,6	162,9	0,3	0,00185
	111,3	111,5	0,2	0,00180
80	205,4	205,9	0,5	0,00243
	160,1	160,5	0,4	0,00250
	110,3	110,6	0,3	0,00272
120	204,05	205,1	1,05	0,00515
	171,65	172,5	0,85	0,00495
	110,1	110,7	0,6	0,00545

Для дальнейшего исследования была разработана и изготовлена специализированная экспериментальная установка – аппаратно-программный комплекс, показанный на рисунке 12.

В целом аппаратно-программный комплекс состоит из следующих компонентов:

- компьютер РС;
- виброаппаратура ВИБ-6ТН с входящим в неё датчиком виброускорения;
- устройства сопряжения блоков, представляющие собой переходную плату (рисунок 12, а, б) и АЦП – аналого-цифровой преобразователь (рисунок 12, в).

Устройства сопряжения – нетиповые. Переходная плата – это соединенный набор сопротивлений и потенциометров для балансировки каналов, подключенный экранированным кабелем к 37 – контактному разъему платы АЦП и виброаппаратуре.

Аналого-цифровой преобразователь – это плата АЦП и одновременно усилитель с максимальным коэффициентом усиления 10000, устанавливаемый в слот ISF персонального компьютера.

Учитывая возможности компьютера и виброаппаратуры, установка была выполнена многоканальной, что при необходимости в перспективе может позволить вести исследования колебаний одновременно нескольких элементов подъемно-транспортной машины.

Далее рассмотрим некоторые особенности применения и устройства переходной платы и АЦП в экспериментальном комплексе.



*а*



*б*



*в*

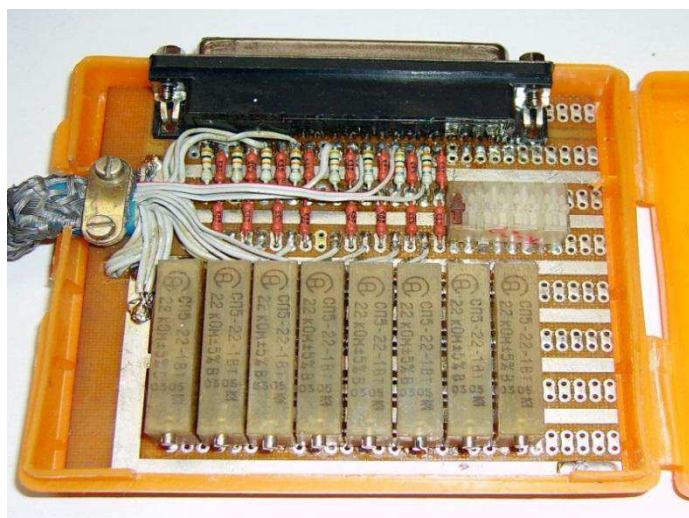
*а* – общий вид; *б* – виброаппаратура ВИБ-6ТН; *в* – датчик виброускорения

Рисунок 12 - Экспериментальная установка

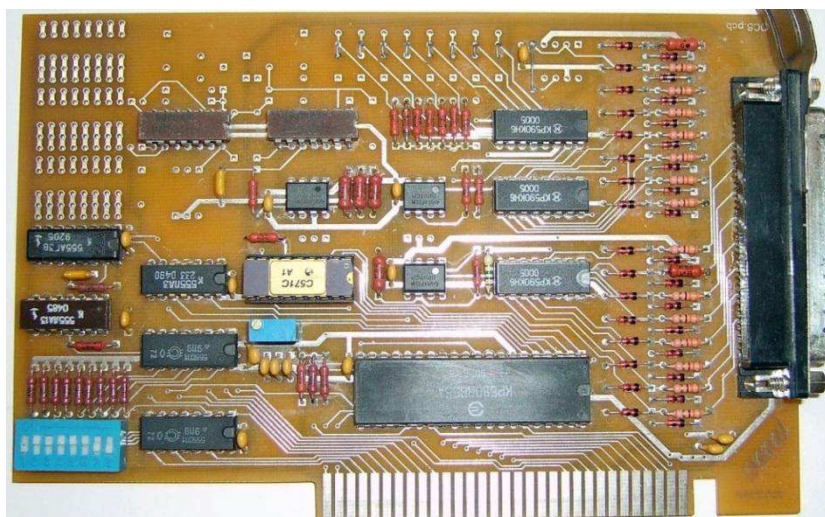




*а*



*б*



*в*

*а* – переходная плата (общий вид); *б* – переходная плата (конструкция);  
*в* – аналого-цифровой преобразователь (конструкция)

Рисунок 13 - Устройства сопряжения блоков установки



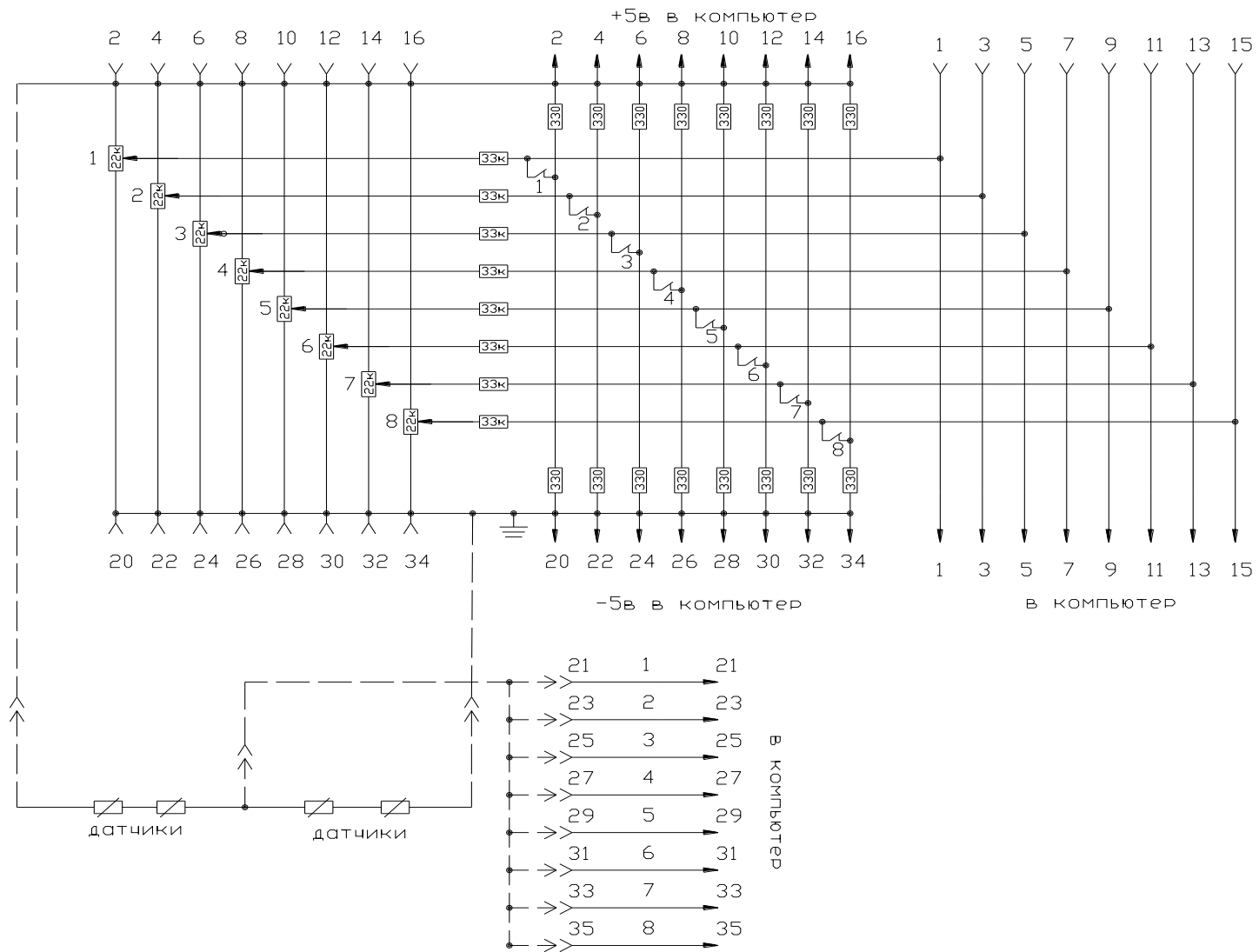


Рисунок 14 - Электрическая схема переходной платы.

Подключение датчиков осуществляется к переходной плате (рисунок 14) или непосредственно к плате АЦП (однако прямое подключение не позволяет произвести подстройку эталонного напряжения, фактически ограничивая использование соединения подобного типа малым коэффициентом усиления). Плата поддерживает одновременное подключение 8 каналов, для балансировки которых на ней имеются 8 потенциометров. Для каждого канала на разъемах платы АЦП и переходной платы выделено по 4 контакта (два верхних и два нижних), начиная с крайних контактов 1 сверху и 20 снизу. Таким образом, в 37-контактном разъеме используются 32 контакта.

С шины компьютера через плату АЦП на переходную плату и затем на подключенную схему подается постоянное напряжение 5 В (контакты 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16 соответствуют +5 В, контакты 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34 – -5 В). На плате АЦП установлены два мультиплексора. Оба имеют по 8 аналоговых входов (для 8 каналов) и один аналоговый выход, кроме того, по три адресные линии, устанавливаемые программно.

В зависимости от опрашиваемого канала на мультиплексорах устанавливается значение адреса (три цифровые линии от 000b до 111b). На 8 аналоговых входов одного мультиплексора подаются «эталонные» напряжения с каждого канала (контакты 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15 на разъеме платы АЦП). На 8 входов другого мультиплексора подаются напряжения, получаемые при прохождении тока через составляющие подключенной к каналу схемы (контакты 21, 23, 25, 27, 29, 31, 33, 35). Мультиплексоры коммутируют входящий сигнал с линии, адрес которой соответствует установленному, на линию аналогового выхода. Соответствующая микросхема на плате АЦП сравнивает эти два напряжения, и разница между ними записывается АЦП в цифровой форме в соответствующий регистр на плате и затем считывается программой обработки сигнала.

«Эталонное» напряжение получается в результате прохождения тока через схему на переходной плате.

Для каждого канала на переходной плате имеется свой потенциометр сопротивлением 22 кОм (номера подписаны), который делит напряжение в зависимости от положения ползунка потенциометра. Крайнее положение по часовой стрелке устанавливает сопротивление верхнего плеча делителя значением 0 кОм и соответствует максимальному значению «эталонного» напряжения; крайнее положение против часовой стрелки устанавливает сопротивление верхнего плеча делителя значением 22 кОм и соответствует минимальному значению «эталонного» напряжения. Часть этого напряжения уходит на контакты 1, 3 и т. д. (верхнее плечо), другая же часть – на контакты 20, 22 и т. д. разъема платы АЦП (на «землю»). Между потенциометром и контактом разъема в схеме также последовательно подключено сопротивление 33 кОм (для уменьшения силы тока; также уменьшает до 4,86 максимальное напряжение, подаваемое на контакты 1, 3 и т.д. платы АЦП), а на плате АЦП еще по 330 Ом.

Параллельно плечам схемы на переходной плате возможно подключение

16 сопротивлений по 330 Ом (по одному на плечо). Для включения сопротивления 330 Ом в схему канала на переходной плате предусмотрено 8 переключателей. Сдвинутые в сторону разъема они замыкают среднюю точку между двумя последовательными сопротивлениями по 330 Ом с верхним плечом конкретного канала (после 33 кОм). При этом обеспечивается фактическое деление напряжения на плечах практически пополам вне зависимости от состояния потенциометра (на практике в этом случае регулировкой потенциометра напряжение меняется от 2,5 до 2,53 В).

При почти абсолютной идентичности начальных сопротивлений (и напряжений) на плечах измеряемой схемы или при работе только на малых коэффициентах усиления (прежде всего, на первом) подобная возможность позволяет отказаться от использования ручной регулировки «эталонного» напряжения при помощи потенциометра. Однако если сопротивления в плечах подключаемой схемы изначально отличаются друг от друга, то диапазон регистрации их изменений уменьшается тем сильнее, чем выше коэффициент усиления. Возможность получения «эталонного» напряжения, близкого к точному 2,5 В, может быть использована в следующих ситуациях:

- при работе только на первом коэффициенте усиления или на любом коэффициенте при близкой к абсолютной точности установки одинаковых сопротивлений в плечах измеряемой схемы;
- при определении обрыва в одном из плеч;
- при разбалансированности регулировки потенциометра;
- при использовании в схеме еще одного резистора для доведения сопротивления в плечах до одинакового значения и т. д.

Кроме того, при помощи припаивания на переходной плате еще одного меньшего сопротивления параллельно 33 кОм значение максимального, напряжения при любом положении переключателя может быть увеличено.

Источник тока подключается к любому крайнему и среднему контакту (для первого: 2 и 21 или 20 и 21). Для других каналов номера контактов можно определить следующим образом: (номер канала – 1) · 2 + номер контакта на 1-м канале.

Так как контакты 20, 22 и т. д. разъема платы АЦП уходят на «землю», то к ним также возможно подключение экранирующего провода.

Плата АЦП по существу представляет собой совокупность плат. В левом верхнем углу плат указан максимальный  $K_U$  для каждой платы, соответствующий 8 режиму (номеру  $K_U$ ) работы платы. Характерной чертой платы на 10000, позволяющей ее идентифицировать, является также синий цвет переключателей, расположенных в левом нижнем углу. Коэффициенты усиления платы  $K_U$ : 1, 10, 100, 500, 1000, 2000, 5000, 10000.

Для вычисления числа вольт в единице или в одной точке на данном коэффициенте усиления  $K_U$  может быть использована следующая формула

$$\Delta U_{\text{МИН}} = 1/100/K_U, \quad (1)$$

где  $K_y$  – реальное значение  $K_y$ .

Таким образом, на первом  $K_y$  для платы  $\Delta U_{МИН} = 0,01$  В. Единица в вышеуказанной формуле соответствует числу точек (или цифровому выражению разницы между напряжениями). Соответственно, для 50 пикселей в клетке по вертикали (2 см на бумаге) на первом  $K_y$   $\Delta U_{МИН} = 50/100/1 = 0,5$  В, на восьмом  $K_y$   $\Delta U_{МИН} = 50/100/10000 = 0,00005$  В.

Отрицательные значения, выводимые программой обработки сигнала, могут свидетельствовать об отсутствии платы в слоте (или ее выходе из него), ее неисправности, неисправности отдельного канала, неправильной установке переключателей в левом нижнем углу платы АЦП (переключатели 1, 7, 8 должны быть выключены, остальные – включены (положение ON)) и т. д. Плата АЦП воспринимает обращение к своим четырем 8-битным регистрам по шестнадцатеричным адресам портов 307h, 306h, 305h и 304h. Порт 307h используется для инициализации АЦП. В него записывается значение 92h.

Запись в порт 306h устанавливает режим работы АЦП (бит 7:1 – сброс АЦП, выбор  $K_y$ , номера канала, 0 – подготовка АЦП, сброс значений портов 305h и 304h, установка 7-го бита порта 305h в 1; биты 4-6 –  $K_y$ ; бит 3 – не определен (1); биты 0–2 – номер канала). Порты 305h и 304h предназначены только для считывания и содержат информацию о состоянии текущего канала, т. е. данные о разнице «эталонного» и измеряемого (в верхнем плече подключенной к каналу схемы) напряжений. Так как АЦП преобразует аналоговый сигнал в 10-битовое значение, то для записи полученного значения 8-битовый регистр порта 304h используется полностью, а в регистре порта 305h – 2 младших бита, соответствующие 2-м старшим битам 10-битовых данных.

Остальные биты регистра порта 305h могут принимать различные значения в соответствии с аппаратной логикой работы платы. Так, отрицательное значение (самый старший бит равен 1) регистрируется при неправильной установке переключателей или неисправности на плате АЦП; значения 1024 или 2047 (старший бит 11-битового значения равен 1, остальные – 0 или 1) при напряжении на входе АЦП (или других микросхем) ниже или выше поддерживаемого и т. д. Старший бит 10-битовых данных является знаковым, определяя выше или ниже «эталонного» измеряемое напряжение. При равенстве двух напряжений он установлен в положение 0, остальные биты в положение 1 (011111111b = 1FFh = 511). При изменении одного из напряжений на одну полную ступень  $\Delta U_{МИН}$  рассматриваемое значение уменьшается (при увеличении измеряемого или уменьшении «эталонного») или увеличивается (при уменьшении измеряемого или увеличении «эталонного») на 1. Таким образом, максимально доступное значение в одну сторону  $n = 000000000b = 0$ , а в другую –  $n = 111111111b = 1023$ . Можно вывести следующую формулу для этого значения:

$$n = 511 - \Delta U / \Delta U_{МИН}, \quad (2)$$

где  $\Delta U = U_{ИЗМ} - U_{ЭТАЛ}$ .

## 2.2.2 Проведение экспериментальных исследований и порядок сохранения полученных результатов

Описанный аппаратно-программный комплекс адаптирован на работу с программой ADC8\_TU, которая позволяет записывать экспериментально полученные графики.

Программа ADC8\_TU имеется в двух версиях – оригинальной и модифицированной. В модифицированной версии программы введены дополнительные функции, улучшающие пользовательский интерфейс и расширяющие возможности по приведению полученных графиков к виду, в большей степени соответствующему пользовательским задачам и потребностям. Они позволяют осуществлять ряд действий, упрощающих дальнейшую обработку полученных результатов или делающих ее в принципе возможной. В дальнейшем под «программой» имеется ввиду её модифицированная версия.

После запуска программы на экране появляется ее главное окно, в котором располагается управляющее меню Параметры работы АЦП (ADC working parameters) (рисунок 20). Каждый параметр имеет значение по умолчанию, указанное в соответствующем пункте при запуске программы. Внизу располагается подсказка по клавишам, используемым при работе в данном окне.

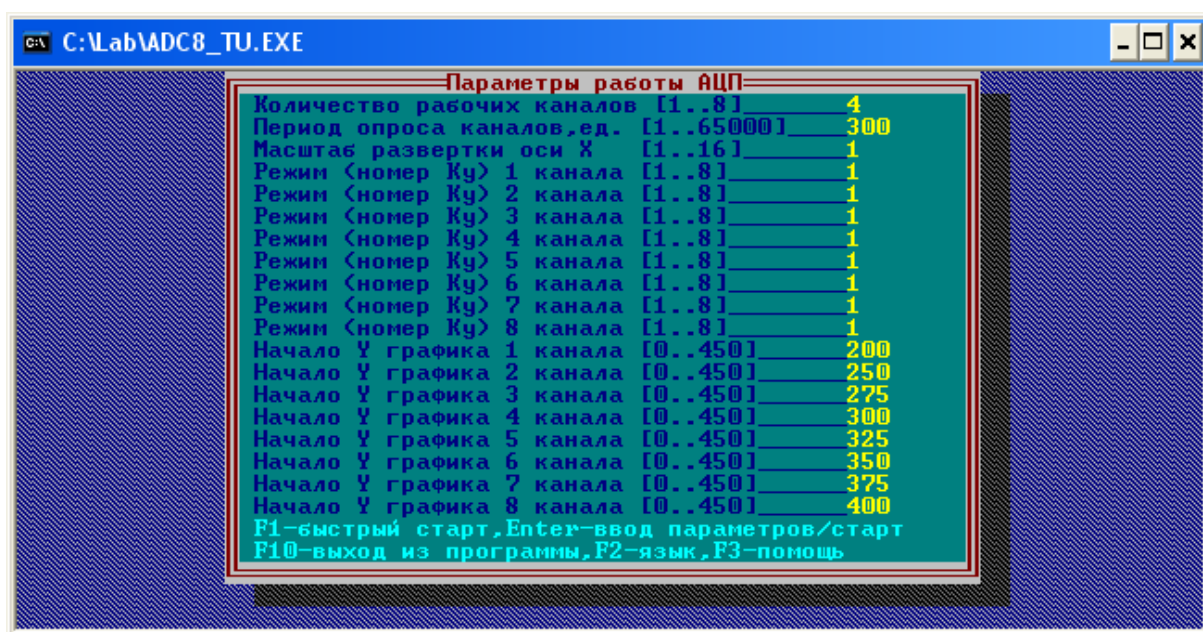


Рисунок 15 - Главное окно программы ADC8\_TU

В главном окне программы для ввода параметров используются следующие клавиши:

- 1) Backspace – стирание значения параметра, после которого установлен мигающий курсор;
- 2) Delete – стирание значения параметра (выделенного или

расположенного после мигающего курсора);

3) Enter – фиксирование параметра и переход на следующую строку; цифровые клавиши – ввод значений;

4) стрелки – перемещение между строками меню без фиксирования значения параметра.

Возможные значения параметров указаны в квадратных скобках. При вводе неправильного значения вход в окно записи сигнала невозможен (до исправления этого значения). Значения должны быть целыми и без дополнительных символов (пробелов и т. д.).

В программе также существует возможность получить краткую справочную информацию по клавишам, используемым в окне записи сигнала. Для этого имеется окно помощи, вызываемое нажатием клавиши F3 (в главном меню) или h (help; в окне записи). Окно всплывает при попытке запустить запись сигнала с новыми параметрами без осуществления предварительной калибровки (т. е. фактически представляет собой окно ошибки). В нем указывается на необходимость проведения калибровки и вкратце описаны действия при работе с программой. Возвращение из окна помощи осуществляется нажатием любой клавиши.

Выход в окно записи производится из любой строки меню после нажатия клавиши F1 (будут использованы соответственно значения по умолчанию или установленные до этого) или из предпоследней строки при нажатии клавиши Enter.

Параметры можно разделить на пять групп:

1) количество рабочих каналов (Number of working channels) от 1 до 8; фактически вводится записываемый канал с наибольшим номером; значение данного параметра влияет как на количество считываемых каналов, так и на количество, которое будет выведено на экран, т. е. каналы с 1-го по указанный будут последовательно считываться и прорисовываться (однако программа позволяет любой канал графически скрыть). Необходимо установить значение 3, так как используется именно третий канал. Первый и второй скрываются;

2) период опроса каналов (Channel polling interval) – от 1 до 65000; данный параметр влияет на задержку опроса следующего опрашиваемого канала (порта платы АЦП); его значение используется при непосредственном ожидании перед считыванием значений порта, т. е. в реальности к данной задержке приплюсовывается задержка на расчеты и вывод графической информации (соответственно, задержка для конкретного канала = (задержка считывания для одного канала + задержка графических расчетов для одного канала) X количество каналов, т. е. чем большее количество каналов указано в параметрах, тем реже будет производиться опрос конкретного канала); на реальное временное значение данного параметра также оказывает влияние быстродействие компьютера, причем аппаратные возможности корректного восстановления и работы регистров платы АЦП на более быстрых ПК и процессорах не гарантируется (увеличивается риск получения отдельных ошибочных результатов), хотя в целом плата показала свою работоспособность

и при данной аппаратной нагрузке; реальное временное значение опроса канала можно высчитать, основываясь на данных калибровки, определяющей количество секунд на одном отрезке записи сигнала (оно отображается на оси X полученного графика):

$$T = t/50 \cdot m, \quad (3)$$

где  $t$  – временное значение отрезка на оси X;

$m$  – масштаб (изменяется от 1 до 16 и, фактически, растягивает график, меняя расположение контрольных точек), а 50 – это количество отображаемых точек (600 пикселей на весь экран, 12 полей) на одно поле и, соответственно, количество опросов за данный промежуток времени; также временное значение для каждой точки записывается в сохраняемый файл (собственный формат) и при конверсии в Excel; Необходимо установить значение 200;

3) масштаб развертки оси X (X-line zooming) – от 1 до 16; определяет расположение контрольных точек на экране, не меняя периода опроса конкретного канала, т. е. фактически, координата X каждой контрольной точки увеличивается в  $m$  раз (где  $m$  – значение масштаба), а отдельные точки соединяются прямой; масштаб времени наоборот уменьшается в  $m$  раз (уже записанный график просто растягивается) или примерно в  $m$  раз (для нового графика при изменении предыдущего масштаба должна быть произведена калибровка, поскольку измененное количество построений точек и линий и соответственное ему смен экрана изменяет время на это затраченное).

Таким образом, для определения реального временного значения периода опроса из графика следует учитывать масштаб, поскольку меняется и количество точек на один отрезок ( $50/t$ ) и время, указываемое на единицу оси X (в файл записываются те же значения в независимости от масштаба); масштаб X указывается на экране/листе в правом нижнем углу, поэтому при необходимости дальнейшего расчета временных значений отдельных точек опроса канала, исходя из бумажного графика, лучше записать на бумагу масштаб напечатанного графика); обычно при записи используется 1-й масштаб;

4) режим (номер  $K_y$ )  $n$  канала (Channel  $n$  mode ( $\mu$  factor number)) –  $K_y$  от 1 до 8 ( $n$  – номер канала от 1 до 8 (для каждого своя строка)); устанавливает коэффициент усиления для каждого канала; выбирается индивидуально для каждого случая и непосредственно зависит от вероятного максимального изменения в процессе эксперимента сопротивления на плечах подключенной схемы, направленности этого изменения и полярности подключения, точности установки «эталонного» напряжения в нулевое положение перед началом измерения (цифровое значение 511 на АЦП – соответствует нулевой разнице между «эталонным» и измеряемым напряжениями), необходимости вывода всего графика на один экран/лист (по высоте) и возможности использования дополнительного программного обеспечения (Excel) и т. д.; Необходимо для третьего канала установить значение 2, остальные оставить без изменений;

5) начало  $Y$  графика  $n$  канала (Graph  $n$  initial  $Y$ -coordinate) – первоначальная  $Y$  координата от 0 (верх экрана) до 450 (для каждого канала своя строка); влияет на расположение графика на экране/листе; выбирается индивидуально для каждого случая и непосредственно зависит от вероятного максимального изменения в процессе эксперимента сопротивления на плечах подключенной схемы, направленности этого изменения и полярности подключения, соответственного выхода графика за пределы экрана, перехлеста и сливания графиков и т. д. (в окне записи любой график (в том числе ранее сохраненный) можно по отдельности перемещать вверх–вниз,) Графики изначально автоматически расположены сверху вниз пропорционально высоте экрана, поэтому изменять первоначальные значения данного параметра не обязательно.

При пользовании программой ADC8\_TU необходимо соблюдать следующую последовательность действий и команд:

1) установка значений всех необходимых параметров.

Необходимость установки конкретных параметров зависит от количества каналов (в нашем случае 1, так как используем один датчик), отличия требуемых значений от значений по умолчанию или от значений, введенных перед предыдущей записью и т. д.

При выходе в главное меню курсор располагается на 1-й строке. Таким образом, ввод значений можно осуществлять последовательно (хотя это и не обязательно – вводятся только те значения параметров, которые необходимо заменить, и в том порядке, в каком удобно). После установки всех необходимых параметров можно начинать запись сигнала.

Выход в окно записи производится из любой строки меню после нажатия клавиши F1 или из предпоследней строки при нажатии клавиши Enter;

2) выполнение калибровки.

При первоначальном выходе в окно записи сигнала должна быть произведена калибровка, определяющая количество секунд на одном отрезке записи сигнала. В дальнейшем калибровка заново производится при изменении количества рабочих каналов, периода опроса каналов, масштаба развертки оси  $X$ .

Калибровка запускается нажатием клавиши F2 и останавливается нажатием любой клавиши (время, требуемое на калибровку, специально не оговорено и выбирается в пределах разумного (от 1 до нескольких секунд)). После остановки калибровки выводится сообщение о полученном значении количества секунд на одном отрезке записи сигнала. Здесь при нажатии клавиши Esc программа выходит в главное меню, а при нажатии любой другой клавиши выводится окно записи сигнала, в котором можно начинать производить запись. При неудовлетворительном значении временного масштаба, нажав клавишу Esc и выйдя в главное меню, можно изменить первые три параметра записи, после чего, войдя в окно записи, заново произвести калибровку (т. е. возвращаемся к п. 1). Кроме того, при выходе в главное меню можно изменить значения  $K_y$  канала и начала графика, подготовить установки



и определить порядок действий для проведения эксперимента, отрегулировать потенциометры и т. д. (в этих случаях, а также при отсутствии изменений, повторной калибровки производить не требуется).

При изменении первых трех параметров (или первоначальном запуске) и нажатии в окне записи клавиши F1 до того, как была произведена калибровка, на экран выводится сообщение о необходимости ее проведения, после чего нажатие любой клавиши выводит снова главное окно (далее опять F1 или Enter до входа в окно записи);

### 3) регулировка потенциометров.

Данный этап может предшествовать проведению окончательной калибровки или проводится во время ее (регулировать потенциометры удобнее, используя отображение изменений графика и цифровых значений для канала на экране монитора, поэтому в окне записи нажимается F2 или F1 и производится регулировка). Цель данного этапа – привести «эталонное» напряжение в соответствие с напряжением в экспериментальной схеме, с тем, чтобы первоначальная разница между ними позволяла захватывать требуемый диапазон и направление изменений в течение эксперимента на данном  $K_y$ .

При входе в окно записи из главного меню в левом краю экрана внутри расчерченной рамки записи обозначены цифровые значения, соответствующие разнице между «эталонным» и измеряемым напряжениями для данного канала и данного  $K_y$ . Значения выведены сверху вниз (по порядку номеров каналов), отличаются цветом и располагаются по оси Y в соответствии с заданными значениями начала координат. Как было указано ранее, значение 511 соответствует нулевой разнице между напряжениями. Установка в это значение при помощи потенциометров позволяет использовать диапазон +512 ... - 511 последующего во время проведения эксперимента изменения разницы напряжений.

При осуществлении регулировки необходимое значение разницы устанавливается подкруткой потенциометра при отслеживании изменений, происходящих с графиком на экране монитора, при этом происходящие с цифровым значением изменения отражаются в верхней правой части экрана, где они указаны теми же цветами, что и графики, и расположены в порядке следования каналов слева направо.

Подкрутка потенциометра против часовой стрелки увеличивает цифровое значение, по часовой – уменьшает. Первоначальную настройку лучше производить на первом  $K_y$ , поскольку с одной стороны на нем проще точно «поймать» значение 511, с другой – можно сразу определить разницу между текущими напряжениями и из нее установить вероятность разрыва или другой неисправности в схеме, подключенной к каналу.

Перед регулировкой потенциометров переключатели на переходной плате необходимо установить в положение «от разъема». Как уже было сказано, в положение «к разъему» они фактически делят «эталонное» напряжение пополам (2,5 В), при этом потенциометры регулируют напряжение лишь в небольшом диапазоне (от 2,50 до 2,53).

Установив на первом  $K_y$  значение в 511 можно увеличивать  $K_y$  и уже далее производить дополнительную регулировку (если нужно). При получении адекватных задачам цифровых значений для первоначального положения можно приступить непосредственно к записи и проведению эксперимента;

4) запись сигнала.

Запись сигнала начинается нажатием клавиши F1. Время записи в программе ограничено размером буфера (60000 байт), который в неизменном виде сохраняется на диск как файл. Параметры и значения записываются в буфер и файл по 2 байта (байты расположены в обратном порядке). Первые 2 байта определяют количество каналов, 3-4-й байты – период опроса одного канала, далее последовательно (по циклу опроса) по 2 байта записываются цифровые значения для каждого канала;

4.1) проведение эксперимента.

После начала записи можно приступить к самому эксперименту. Канат нагружаем определенной массой, груз устанавливаем в крайнее положение. С помощью пульта управления электрической талью его начинаем перемещать. Наблюдая за поведением графика, ждем, пока затухнут колебания, вызванные началом движения. После чего резко отпускаем кнопку на пульте и ждем, пока затухнут колебания, вызванные резким торможением.

После этого останавливаем запись. Остановка записи до окончания заполнения буфера осуществляется нажатием любой клавиши (кроме Esc). После этого при необходимости запись может быть продолжена через определенный промежуток времени повторным нажатием F1.

Измеряем длину каната, при которой было произведено торможение.

После этого включаем продолжение записи и повторяем эксперимент. Но начинаем движение не из крайнего положения, а с последней остановки.

Таким образом, в одном файле будут сохранены результаты всех экспериментов при данной массе груза;

4.2) сохранение результатов экспериментов.

Сохранение записи в файл после ее остановки производится нажатием клавиши F3, после чего в появившемся окошке (Сохранить файл как ...) [путь] (Save file as ... [path]) прописывается имя файла или путь и имя файла. Необходимо подчеркнуть, что путь должен быть полным, а папка, в которой будет сохранен файл, должна уже существовать. При отсутствии пути и папки, обозначенных при сохранении, программа закрывается. Другими ограничениями при сохранении файла являются: отсутствие поддержки русского языка при указании имени файла (однако из папок с русскоязычными названиями программа работает корректно) и поддержка программой только DOS-формата (8.3) имени файла (т. е. число знаков в названии до точки должно быть не более 8, а в расширении (необязательном) после точки – не более 3 (дополнительные символы при сохранении отбрасываются и таким образом, различия между именами файлов за рамками формата 8.3 не учитываются)). Если файл с сохраняемым именем уже существует, то программа без предупреждения стирает существующий файл и записывает новый.

Выполнение экспериментов и запись экспериментальных данных в соответствии с изложенной последовательностью действий и команд создает массив графиков (рисунок 21), которые можно обработать с помощью других программ через создание конвертированных файлов. Наиболее удобным и простым для этого представляется пакет Excel.

Для создания конвертированного файла в Excel после нажатия клавиши F6 в появившемся окне (Открыть файл ... [путь]) прописывается имя открываемого файла или путь и имя файла, а в следующем окне (Сохранить конвертированный файл как... [путь]) (Save conversion file as... [path]) – имя сохраняемого конвертированного файла (при совпадении имен – старый, неконвертированный файл заменяем новым, конвертированным). После этого использование символов табуляции позволяет получить в Excel несколько столбцов уже разбитых данных. В первом столбце располагаются отметки времени, во втором и третьем столбцах – нули, так как они не используются, а в четвертом – значения уровня сигнала в рабочем канале 1.

Пакет Excel позволяет работать как с текстовыми данными, так и с числовыми. Наличие в нем математических, статистических и иных функций, а также использование макросов, диаграмм и других элементов пакета предоставляет практически неограниченные возможности по обработке записанных данных. Благодаря этому, применив пакет Excel для обработки графиков, полученных при записи колебаний груза при различных сочетаниях  $m$  и  $L$  (массы груза и длины каната), далее их преобразуем в интересующие нас таблицы.

В таблице 2 представлены организованные таким образом результаты обработки графиков колебаний, возникших при торможении после опускания или подъема груза.

### 2.3 Обработка результатов экспериментальных исследований

Следует заметить, что данные, приведенные в таблице 2, относящиеся к подъему груза, существенно не отличаются от данных, относящихся к опусканию груза. Поэтому далее находим математическое выражение зависимости периода колебаний  $T$  от длины каната  $L$  и массы груза  $m$ , используя лишь данные, относящиеся к опусканию.

Таблица 2 - Зависимость периода колебания груза от массы груза, длины каната и направления движения

Масса груза $m$ , кг	Опускание груза		Подъем груза	
	Длина каната $L$ , м	Период колебаний груза $T$ , с	Длина каната $L$ , м	Период колебаний груза $T$ , с
50	1,13	0,0813	1,35	0,0815
	1,26	0,0815	1,51	0,0903
	1,43	0,0872	1,59	0,0838
	1,72	0,091	1,71	0,0858
	1,79	0,0903	1,78	0,0868
	1,85	0,088	1,87	0,0916
	1,96	0,0939	1,95	0,0858
	2,09	0,0873	2,08	0,0925
	2,25	0,0937	2,14	0,0914
75	0,96	0,0813	0,88	0,0793
	1,18	0,0826	1,09	0,0801
	1,36	0,0843	1,23	0,085
	1,40	0,0861	1,38	0,0859
	1,54	0,0889	1,44	0,0891
	1,63	0,0918	1,57	0,0903
	1,80	0,0959	1,68	0,0894
	2,06	0,0986	1,76	0,0897
	2,14	0,1015	1,78	0,0932
	2,30	0,102	1,96	0,0925
	1,08	0,0876	0,92	0,0808
	1,22	0,0893	1,04	0,0866
	1,32	0,095	1,19	0,0896
100	1,40	0,0954	1,35	0,098
	1,48	0,1034	1,44	0,0997
	1,60	0,0976	1,54	0,0975
	1,67	0,1011	1,60	0,0984
	1,74	0,1029	1,70	0,1034
	1,92	0,1061	1,79	0,1035
	2,03	0,104	1,86	0,1038

Продолжение таблицы 2

Масса груза $m$ , кг	Опускание груза		Подъем груза	
	Длина каната $L$ , м	Период колебаний груза $T$ , с	Длина каната $L$ , м	Период колебаний груза $T$ , с
125	0,90	0,0889	1,00	0,0946
	1,07	0,0905	1,08	0,0959
	1,18	0,0945	1,22	0,0986
	1,31	0,0975	1,32	0,1011
	1,39	0,102	1,42	0,1013
	1,60	0,1056	1,48	0,1033
	1,67	0,1061	1,62	0,1048
	1,75	0,1089	1,75	0,1071
	1,90	0,1111	1,80	0,109
150	1,19	0,1097	1,04	0,1048
	1,34	0,1081	1,14	0,1041
	1,45	0,1142	1,24	0,1085
	1,54	0,1122	1,32	0,1105
	1,63	0,1127	1,41	0,1117
	1,76	0,1175	1,47	0,1124
	1,82	0,1188	1,53	0,1157
	1,86	0,1197	1,62	0,1144
	1,95	0,1179	1,79	0,1179
175	1,01	0,1066	0,91	0,1056
	1,15	0,1113	1,02	0,1056
	1,30	0,1194	1,17	0,111
	1,44	0,1192	1,24	0,1138
	1,50	0,1234	1,34	0,1101
	1,60	0,1189	1,44	0,1221
	1,72	0,1232	1,50	0,1197
	1,78	0,1224	1,61	0,1207
	1,87	0,1186	1,70	0,124
	1,90	0,1269	1,74	0,123
	1,01	0,1122	0,86	0,1056
	1,10	0,1081	1,09	0,1135
	1,29	0,1187	1,16	0,1165

## Окончание таблицы 2

Масса груза $m$ , кг	Опускание груза		Подъем груза	
	Длина каната $L$ , м	Период колебаний груза $T$ , с	Длина каната $L$ , м	Период колебаний груза $T$ , с
200	1,32	0,1177	1,26	0,1125
	1,41	0,1231	1,35	0,1197
	1,47	0,1214	1,44	0,1224
	1,52	0,1188	1,51	0,1232
	1,62	0,1255	1,61	0,1202
	1,70	0,1286	1,69	0,1269
	1,90	0,1334	1,79	0,1265
	1,00	0,1153	0,92	0,1117
	1,08	0,1114	1,10	0,1162
	1,18	0,1136	1,21	0,121
225	1,27	0,1152	1,28	0,1214
	1,35	0,1241	1,32	0,12
	1,47	0,1293	1,40	0,1249
	1,55	0,1268	1,48	0,1235
	1,65	0,1314	1,58	0,1261
	1,77	0,1302	1,60	0,1264
	1,88	0,141	1,69	0,132

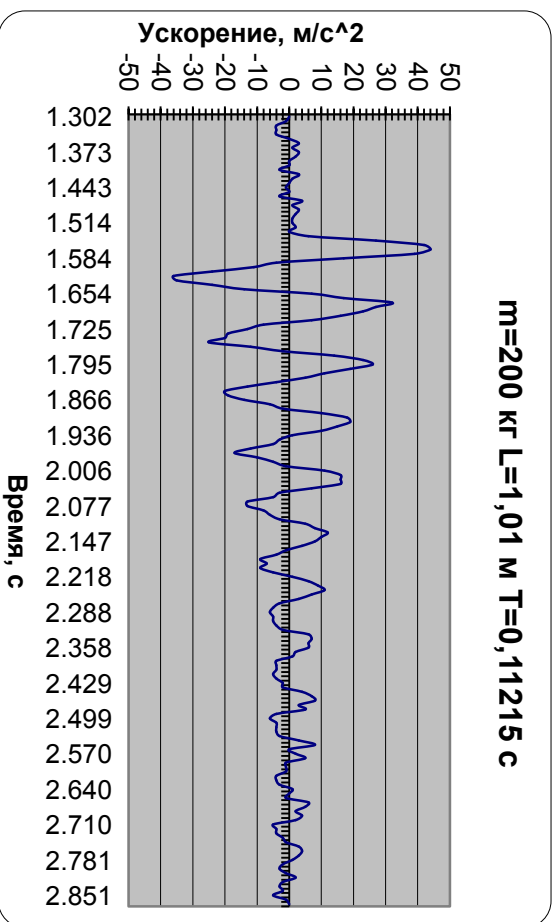
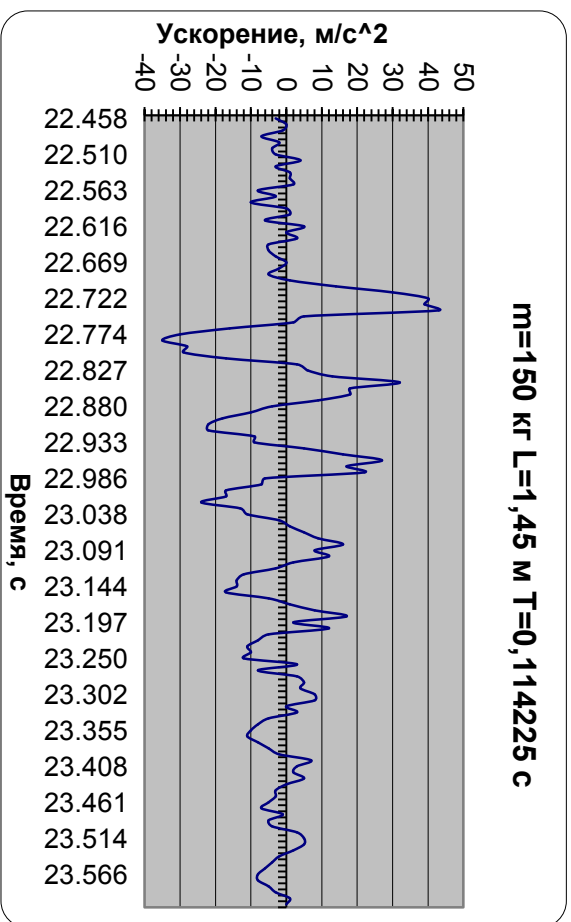
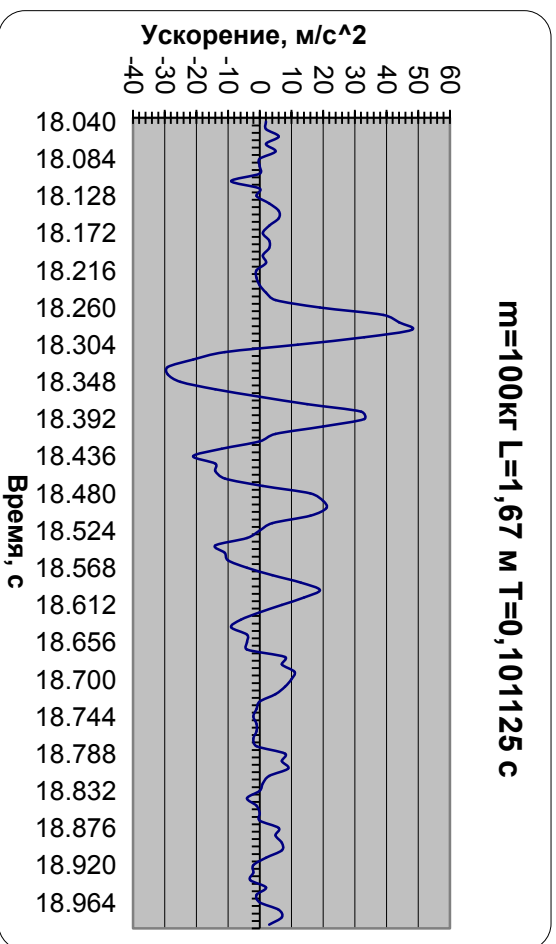
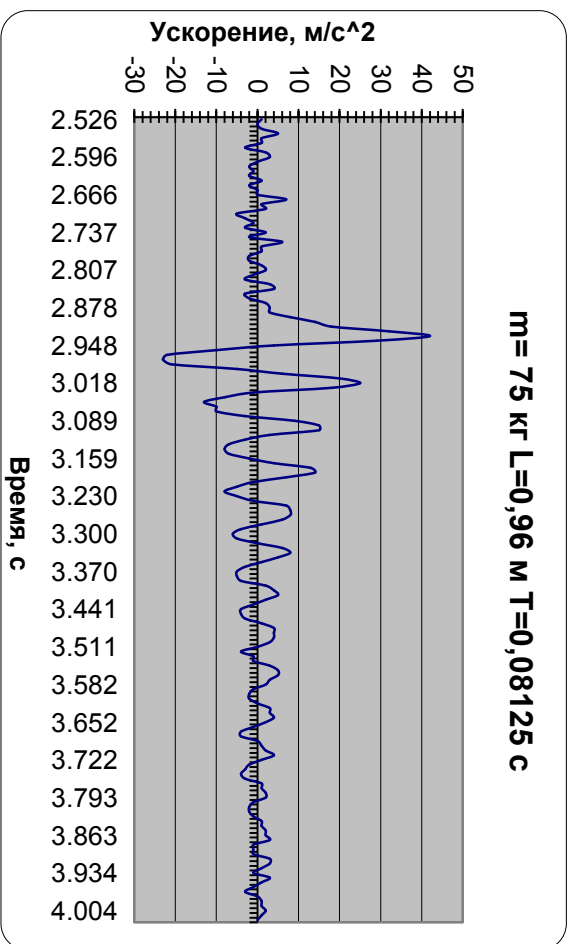


Рисунок 16 - Экспериментальные графики зависимости периода колебания от длины каната и массы груза

Применим для этого общеизвестную теорию множественной корреляции. Для этого проанализируем данные таблицы 2 и предположим, что период колебаний равен

$$T = a + b \cdot L + c \cdot m, \quad (4)$$

где  $a$ ,  $b$  и  $c$  – постоянные коэффициенты, которые вычисляются с помощью коэффициентов корреляции между  $L$  и  $m$  ( $r_{Lm}$ );  $L$  и  $T$  ( $r_{LT}$ );  $m$  и  $T$  ( $r_{mT}$ ) а также средних квадратичных отклонений  $\sigma_L$ ,  $\sigma_m$ ,  $\sigma_T$  и среднеарифметических  $\bar{T}$ ,  $\bar{L}$ ,  $\bar{m}$  по формулам:

$$b = (\sigma_T/\sigma_L) [(r_{LT} - r_{mT} \cdot r_{Lm})/\{1 - (r_{Lm})^2\}], \quad (5)$$

$$c = (\sigma_T/\sigma_m) [(r_{mT} - r_{LT} \cdot r_{Lm})/\{1 - (r_{Lm})^2\}], \quad (6)$$

$$a = \bar{T} - (b \cdot \bar{L}) - (c \cdot \bar{m}). \quad (7)$$

Как показывают расчеты в пакете Excel (для этого в нем имеются специальный режим обработки данных), получаем следующие постоянные коэффициенты:

$$a = 0,057, b = 0,0114, c = 0,000228,$$

то есть период колебаний  $T$  составит:

$$T = 0,057 + 0,0114 \cdot L + 0,000228 \cdot m, \quad (8)$$

где  $L$  – длина каната, м;  $m$  – масса груза, кг.

Проверим, насколько эта формула точно соответствует экспериментальным данным. Для этого рассчитаем погрешность:

$$\varepsilon = (T_{\text{ЭКСП}} - T_{\text{РАСЧ}}) \cdot 100/T_{\text{РАСЧ}}. \quad (9)$$

Представим результаты расчетов в виде таблицы 3, заменив период колебаний  $T$  на  $t = T/2$ , поскольку далее нам понадобится именно эта величина.

Исследуем погрешности расчета по формуле методом гистограмм:

- 1)  $\max \varepsilon_I = 8,69 \% \approx 9 \%$  – максимальное значение погрешности;
- 2)  $\min \varepsilon_I = -7,64 \% \approx -8 \%$  – минимальное значение погрешности;
- 3)  $n = 79$  – общее количество результатов;
- 4)  $h_X = (\max \varepsilon_I - \min \varepsilon_I)/(1 + 3,322 \lg n) = 2,3$  – ширина интервала расчетная;
- 5)  $h_X = 2$  – принятая ширина интервала;
- 6)  $\varepsilon_i$  – середина интервала погрешности.



Таблица 3 - Погрешность замены экспериментальных данных эмпирической формулой в зависимости от массы груза и длины каната (опускание груза)

Масса груза $m$ , кг	Длина каната $L$ , м	Полупериод колебаний экспериментальный $t_{ЭКСП}$ , с	Полупериод колебаний расчетный $t_{РАСЧ}$ , с	Погрешность $\epsilon$ , %
50	1,13	0,0406	0,0406	-0,04
	1,26	0,0408	0,0414	-1,53
	1,43	0,0436	0,0424	2,89
	1,72	0,0455	0,044	3,4
	1,79	0,0452	0,0444	1,68
	1,85	0,044	0,0447	-1,66
	1,96	0,0467	0,0454	2,93
	2,09	0,0436	0,0461	-5,4
	2,25	0,0469	0,047	-0,37
75	0,96	0,0406	0,0425	-4,46
	1,18	0,0413	0,0438	-5,71
	1,36	0,0421	0,0448	-5,98
	1,4	0,0431	0,045	-4,37
	1,54	0,0445	0,0458	-3,01
	1,63	0,0459	0,0463	-0,92
	1,8	0,0479	0,0473	1,33
	2,06	0,0493	0,0488	1,04
	2,14	0,0508	0,0492	3,05
	2,3	0,051	0,0502	1,63
	1,08	0,0438	0,0461	-4,87
	1,22	0,0447	0,0469	-4,67
	1,32	0,0475	0,0474	0,16
100	1,4	0,0477	0,0479	-0,35
	1,48	0,0517	0,0483	6,93
	1,6	0,0488	0,049	-0,42
	1,67	0,0506	0,0494	2,31
	1,74	0,0514	0,0498	3,23
	1,92	0,0531	0,0508	4,34
	2,03	0,052	0,0515	0,99

Продолжение таблицы 3

Масса груза m, кг	Длина каната L, м	Полупериод колебаний экспериментальный tЭКСП, с	Полупериод колебаний расчетный tРАСЧ, с	Погрешность $\epsilon$ , %
125	0,9	0,0445	0,0479	-7,16
	1,07	0,0453	0,0488	-7,34
	1,18	0,0473	0,0495	-4,5
	1,31	0,0488	0,0502	-2,92
	1,39	0,051	0,0507	0,65
	1,6	0,0528	0,0519	1,74
	1,67	0,053	0,0523	1,45
	1,75	0,0545	0,0527	3,27
	1,9	0,0556	0,0536	3,7
	2,02	0,0558	0,0543	2,85
150	1,12	0,0532	0,052	2,39
	1,19	0,0548	0,0524	4,66
	1,34	0,0541	0,0532	1,53
	1,45	0,0571	0,0539	6,03
	1,54	0,0561	0,0544	3,12
	1,63	0,0563	0,0549	2,61
	1,76	0,0587	0,0556	5,58
	1,82	0,0594	0,056	6,12
	1,86	0,0599	0,0562	6,49
	1,95	0,059	0,0567	3,94
175	1,01	0,0533	0,0542	-1,67
	1,15	0,0557	0,055	1,17
	1,3	0,0597	0,0559	6,85
	1,44	0,0596	0,0567	5,15
	1,5	0,0617	0,057	8,25
	1,6	0,0595	0,0576	3,27
	1,72	0,0616	0,0583	5,74
	1,78	0,0612	0,0586	4,47
	1,87	0,0593	0,0591	0,32
	1,9	0,0634	0,0593	6,99

Окончание таблицы 3

Масса груза $m$ , кг	Длина каната $L$ , м	Полупериод колебаний экспериментальный $t_{ЭКСП}$ , с	Полупериод колебаний расчетный $t_{РАСЧ}$ , с	Погрешность $\epsilon$ , %
200	1,01	0,0561	0,0571	-1,72
	1,1	0,0541	0,0576	-6,11
	1,29	0,0594	0,0587	1,19
	1,32	0,0589	0,0588	0,04
	1,41	0,0616	0,0593	3,73
	1,47	0,0607	0,0597	1,73
	1,52	0,0594	0,06	-0,94
	1,62	0,0627	0,0605	3,64
	1,7	0,0643	0,061	5,45
	1,9	0,0667	0,0621	7,32
225	1	0,0577	0,0599	-3,68
	1,18	0,0568	0,0609	-6,7
	1,27	0,0576	0,0614	-6,15
	1,35	0,0621	0,0618	0,41
	1,39	0,051	0,0507	0,65
	1,47	0,0647	0,0625	3,39
	1,55	0,0634	0,063	0,62
	1,65	0,0657	0,0636	3,39
	1,77	0,0651	0,0642	1,34
	1,88	0,0705	0,0649	8,69

Таблица 4 - Эмпирическое распределение показателей

Интервалы		Подсчет частот	Частота попадания погрешности в интервал $f_i$
от	до		
-9	-7	///	3
-7	-5	//// /	6
-5	-3	//// //	7
-3	-1	////	5
-1	1	//// //// ///	13
1	3	//// //// //// //	17
3	5	//// //// ////	15
5	7	//// ////	10
7	9	///	3

Таблица 5 - Вычисление среднего значения погрешности и ее среднеквадратического отклонения (опускание груза)

Интервалы		$\varepsilon_i$	$f_i$	$y_i$	$y_i \cdot f_i$	$y_i^2 \cdot f_i$
от	до					
-9	-7	-8	3	-5	-15	75
-7	-5	-6	6	-4	-24	96
-5	-3	-4	7	-3	-21	63
-3	-1	-2	5	-2	-10	20
-1	1	0	13	-1	-13	13
1	3	2	17	0	0	0
3	5	4	15	1	15	15
5	7	6	10	2	20	40
7	9	8	3	3	9	27
$\Sigma$			79	-9	-39	349

Среднее значение погрешности (опускание груза) будет равно:

$$\varepsilon_{CP} = \varepsilon_i - h_x [(y_i \cdot f_i)/n], \quad (10)$$

$$\varepsilon_{CP} = 0 - 2 (-39/79) \approx 1.$$

Среднеквадратичное отклонение погрешности составит:

$$\sigma = h_x \{ [(y_i^2 \cdot f_i)/n] - [(y_i \cdot f_i)/n] \}^{1/2} \quad (11)$$

$$\sigma = 2 \{ [(349/79)] - [(-39)/79] \}^{1/2} \approx 4,22.$$

Проверим гипотезу нормальности распределения по критерию Пирсона. Гипотеза принимается, если выполняется условие

$$[(f_i - f_{iT})^2 / f_{iT}] < \sigma_{KP}^2, \quad (12)$$

где  $\sigma_{KP}^2$  – критическое значение погрешности (принимается по таблице 7 в зависимости от числа степеней свободы  $k$ , которые определяем по формуле  $k = w - 3$ ,  $w$  – число сравниваемых частот).

Таблица 6 - Вспомогательная таблица для проверки гипотезы о модели распределения погрешности (опускание груза)

№ интервала	$\varepsilon_i$	$Z_i$	$\varphi(Z_i)$	$f_{iT}$	$f_i$	$\frac{(f_i - f_{iT})^2}{f_{iT}}$		
1	-8	2,21	0,0347	1,37	3	16	1,9393	
2	-6	1,72	0,0909	3,59			6	1,6178
3	-4	1,23	0,1872	7,39			7	1,0749
4	-2	0,74	0,3034	11,98	5	50	4,0704	
5	0	0,25	0,3867	15,27			13	0,3387
6	2	0,24	0,3876	15,31			17	0,1865
7	4	0,73	0,3056	12,07			15	0,7106
8	6	1,22	0,1895	7,49	10	13	0,3109	
9	8	1,71	0,0925	3,65				3
$\Sigma$				78,13		79	6,6921	

Примечание:  $Z_i = |\varepsilon_i - \varepsilon|/\sigma$  – нормированный параметр для заданного интервала с серединой  $\varepsilon_i$ ;  $f_{iT}$  – теоретическая частота для нормального распределения;  $\varphi(Z_i)$  – нормированная плотность нормального распределения.

Таблица 7 -Зависимость критического значения погрешности  $\sigma_{KP}$  от числа степеней свободы  $k$

$k$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\sigma_{KP}^2$	3,8	6,0	7,8	9,5	11,1	12,6	14,1	15,5	16,9

Так как условие выполняется  $6,6921 < 7,8$ , то гипотеза нормальности распределения может быть принята, и математическое выражение, связывающее  $T$ ,  $L$ , и  $m$  при опускании груза можно считать практически пригодным.

Проверим теперь пригодно ли выражение, связывающее  $T$ ,  $L$ , и  $m$ , для случая подъема груза. Рассчитываем погрешность, так же как и в предыдущем случае, и сводим их в таблицах 8-10.

Исследуем погрешности расчета по формуле методом гистограмм:

$\max \varepsilon_I = 9,98 \% \approx 10 \%$  – максимальное значение погрешности;

$\min \varepsilon_I = -12,23 \% \approx -13 \%$  – минимальное значение погрешности;

$n = 79$  – общее количество результатов;

$h_X = (\max \varepsilon_I - \min \varepsilon_I)/(1 + 3,322 \lg n) = 3,15$  – ширина интервала расчетная;

$h_X = 3$  – принятая ширина интервала;

Среднее значение погрешности составит:

$$\varepsilon_{CP} = 0,5 - 3 (12/79) = 0,05.$$

Среднеквадратичное отклонение погрешности равно:

$$\sigma = h_x \{[(y_i^2 \cdot f_i)/n] - [(y_i \cdot f_i)/n]\}^{1/2}, \quad (13)$$

$$\sigma = 3 \{[(132/79)] - [(-12)/79]\}^{1/2} \approx 4,05.$$

По таблице 7 определяем критическое значение  $\sigma_{KP}^2 = 7,8$ .

Так как условие  $1,8003 < 7,8$  выполняется, то гипотеза нормальности распределения может быть принята.

Таким образом, экспериментально установлено, что при резком торможении груза возникают вертикальные колебания груза с периодом:

$$T = 0,057 + 0,0114 \cdot L + 0,000228 \cdot m, \quad (14)$$

или полупериодом  $t = T/2$ :

$$t = 0,0285 + 0,0057 \cdot L + 0,000114 \cdot m, \quad (15)$$

как при подъеме, так и при опускании груза.

Приведенные формулы справедливы лишь для данного каната. При другом канате числа  $a$ ,  $b$  и  $c$  будут другие. Тем не менее, нет никаких оснований считать, что форма связи  $T$ ,  $L$  и  $m$  изменится, а это означает, что устройства, автоматически устраняющие колебания груза, можно при любом канате строить на основе следующей зависимости:

$$t = 0,0285 + 0,0057 \cdot L + 0,000114 \cdot m. \quad (16)$$

Погрешности замены экспериментальных данных эмпирической формулой в зависимости от массы груза и длины каната приведены в таблице 8 [35-44].

Таблица 8 - Погрешность замены экспериментальных данных эмпирической формулой в зависимости от массы груза и длины каната (подъем груза)

Масса груза $m$ , кг	Длина каната $L$ , м	Полупериод колебаний экспериментальный $t_{ЭКСП}$ , с	Полупериод колебаний расчетный $t_{РАСЧ}$ , с	Погрешность $\delta$ , %
50	1,35	0,0815	0,0838	-2,73
	1,51	0,0903	0,0856	5,42
	1,59	0,0838	0,0865	-3,21
	1,71	0,0858	0,0879	-2,44
	1,78	0,0868	0,0887	-2,19
	1,87	0,0916	0,0897	2,1
	1,95	0,0858	0,0906	-5,38
	2,08	0,0925	0,0921	0,42
	2,14	0,0914	0,0928	-1,53
75	0,88	0,0793	0,0841	-5,74
	1,09	0,0801	0,0865	-7,48
	1,23	0,085	0,0881	-3,54
	1,38	0,0859	0,0898	-4,43
	1,44	0,0891	0,0905	-1,54
	1,57	0,0903	0,092	-1,9
	1,68	0,0894	0,0933	-4,13
	1,76	0,0897	0,0942	-4,71
	1,78	0,0932	0,0944	-1,26
	1,96	0,0925	0,0964	-4,09
100	0,92	0,0793	0,0903	-12,23
	1,04	0,0866	0,0917	-5,53
	1,19	0,0896	0,0934	-4,06
	1,35	0,098	0,0952	2,95
	1,44	0,0997	0,0962	3,61
	1,54	0,0975	0,0974	0,15
	1,60	0,0984	0,098	0,34
	1,70	0,1034	0,0992	4,25
	1,79	0,1035	0,1002	3,29
	1,86	0,1038	0,101	2,72
125	1,00	0,0946	0,0969	-2,39
	1,08	0,0959	0,0978	-1,98
	1,22	0,0986	0,0994	-0,84
	1,32	0,1011	0,1005	0,57
	1,42	0,1013	0,1017	-0,43

Продолжение таблицы 8

Масса груза m, кг	Длина каната L, м	Полупериод колебаний экспериментальный $t_{ЭКСП}, c$	Полупериод колебаний расчетный $t_{РАСЧ}, c$	Погрешность $\varepsilon, \%$
125	1,48	0,1033	0,1024	0,86
	1,62	0,1048	0,104	0,8
	1,75	0,1071	0,1055	1,52
	1,80	0,109	0,106	2,81
	1,88	0,1106	0,1069	3,45
150	0,94	0,1022	0,1019	0,28
	1,04	0,1048	0,1031	1,69
	1,14	0,1041	0,1042	-0,09
	1,24	0,1085	0,1053	2,98
	1,32	0,1105	0,1062	4
	1,41	0,1117	0,1073	4,13
	1,47	0,1124	0,108	4,14
	1,53	0,1157	0,1086	6,47
	1,62	0,1144	0,1097	4,31
	1,79	0,1179	0,1116	5,64
175	0,91	0,1056	0,1073	-1,56
	1,02	0,1056	0,1085	-2,7
	1,17	0,111	0,1102	0,69
	1,24	0,1138	0,111	2,44
	1,34	0,1101	0,1122	-1,83
	1,44	0,1246	0,1133	9,98
	1,50	0,1197	0,114	5
	1,61	0,1207	0,1153	4,73
	1,70	0,124	0,1163	6,66
	1,74	0,123	0,1167	5,37
200	0,86	0,1056	0,1124	-6,05
	1,09	0,1135	0,115	-1,33
	1,16	0,1165	0,1158	0,61
	1,26	0,1125	0,117	-3,86
	1,35	0,1197	0,118	1,45
	1,44	0,1224	0,119	2,84
	1,51	0,1232	0,1198	2,83
	1,61	0,1202	0,121	-0,64
	1,69	0,1269	0,1219	4,09
	1,79	0,1265	0,123	2,84



Окончание таблицы 8

Масса груза $m$ , кг	Длина каната $L$ , м	Полупериод колебаний экспериментальный $t_{ЭКСП}$ , с	Полупериод колебаний расчетный $t_{РАСЧ}$ , с	Погрешность $\epsilon$ , %
225	0,92	0,1117	0,1188	-5,97
	1,10	0,1162	0,1208	-3,84
	1,21	0,121	0,1221	-0,92
	1,28	0,1214	0,1229	-1,21
	1,32	0,12	0,1233	-2,71
	1,40	0,1249	0,1243	0,52
	1,48	0,1235	0,1252	-1,34
	1,58	0,1261	0,1263	-0,17
	1,60	0,1264	0,1265	-0,11
	1,69	0,132	0,1276	3,48

Таблица 9 - Эмпирическое распределение показателей (подъем груза)

Интервалы		Подсчет частот	Частота попадания погрешности в интервал $f_I$
от	до		
-13	-10	/	1
-10	-7	/	1
-7	-4	//// //	10
-4	-1	//// // // //	20
-1	2	//// // // //	20
2	5	//// // // //	20
5	8	//// /	6
8	11	/	1

Таблица 10 - Вычисление среднего значения погрешности и ее среднеквадратического отклонения (подъем груза)

Интервалы		$\varepsilon_i$	$f_i$	$y_i$	$y_i \cdot f_i$	$y_i^2 \cdot f_i$
от	до					
-13	-10	-11,5	1	-4	-4	-4
-10	-7	-8,5	1	-3	-3	-3
-7	-4	-5,5	10	-2	-20	-200
-4	-1	-2,5	20	-1	-20	-400
-1	2	0,5	20	0	0	0
2	5	3,5	20	1	20	400
5	8	6,5	6	2	12	72
8	11	9,5	1	3	3	3
$\Sigma$			79		-12	132

Таблица 11 - Вспомогательная таблица для проверки гипотезы о модели распределения погрешности (подъем груза)

№ интервала	$\varepsilon_i$	$Z_i$	$\varphi(z_i)$	$f_{iT}$		$f_i$		$\frac{(f_i - f_{iT})^2}{f_{iT}}$
1	11,5	3	0,0044	0,27	11,07	1	12	0,0784
2	-8,5	2,22	0,0339	2,09		1		
3	-5,5	1,44	0,1415	8,71		10		
4	-2,5	0,66	0,3209	19,75	7,18	20	7	0,0031
5	0,5	0,12	0,3961	24,38		20		0,788
6	3,5	0,9	0,2621	16,13		20		0,9261
7	6,5	1,68	0,0973	5,99	7,18	6	7	0,0047
8	9,5	2,46	0,0194	1,19		1		
$\Sigma$				78,52		79		1,8003

### 2.3.1 Колебания, вызванные началом движения груза

В ходе проведения экспериментов была выявлена еще одна проблема. В начале движения также возникают колебания (рисунок 22), которые отрицательно сказываются на надежности и долговечности грузоподъемных кранов, как и те, которые вызваны резким торможением.

Из-за них дополнительно возникает опасность наложения колебаний, если торможение началось до того, как колебания, вызванные началом движения, затухли, что усиливает их.

Данные колебания можно устранить, используя привод с регулируемой частотой вращения. Частоту вращения привода можно регулировать устройством разгона привода, которое состоит из программатора, программируемого реле времени, управляемого генератора импульсов, счетчика импульсов и преобразователя код – напряжение.

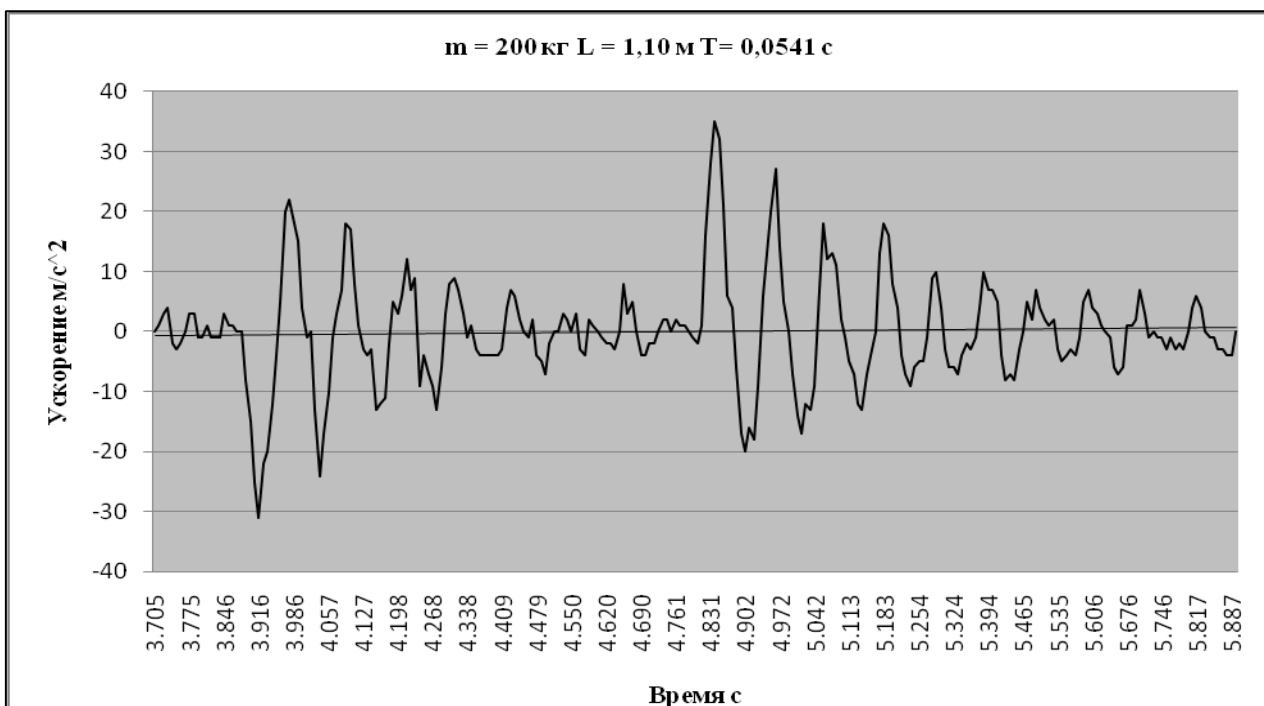


Рисунок 17 - График резкого пуска с последующим резким торможением

В программаторе записываются пары значений  $t$  и  $f$  в кодированном виде. По команде «пуск» программатор выдает первую пару. Код  $t$  задает время работы программируемого реле времени, код  $f$  – частоту работы генератора импульсов. Получив  $t$ , реле времени включает генератор с частотой  $f$ , обнуляет счетчик импульсов и подготавливает программатор к смене программы. Счетчик считает импульсы в естественном двоичном коде, этот код преобразовывается в напряжение  $U_z$ , которое является сигналом задания скорости привода.

Когда время  $t$  истекает, реле времени выключает генератор, подает сигнал на смену пары  $t$  и  $f$  и все повторяется. Так можно получить любой закон разгона. Все будет зависеть от того, что записано в программаторе. При соответствующей программе можно получить закон, приведенный на рисунке 23. При его использовании двигатель будет разгоняться плавно.

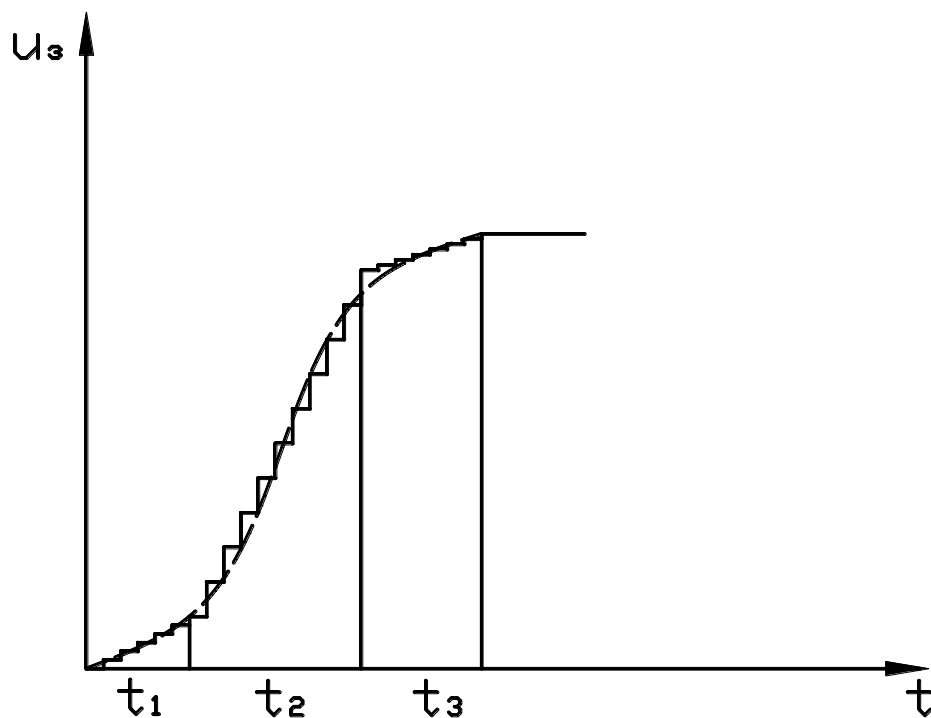


Рисунок 18 - Закон плавного разгона привода

### 2.3.2 Выводы по результатам исследования вертикальных колебаний груза

1) Установлена математическая зависимость периода колебаний от высоты подвеса и массы груза, как при подъеме, так и при опускании груза, положенная в основу разработки автоматических систем торможения для устранения вертикальных колебаний груза.

2) На экспериментальной установке была подтверждена зависимость периода колебаний от высоты подвеса и массы груза.

3) Для установления соответствия математической зависимости периода колебаний от высоты подвеса и массы груза экспериментальным данным исследована погрешность методом гистограмм.

4) Установлено, что в начале движения груза также возникают колебания, которые отрицательно сказываются на надежности и долговечности кранов, как и те, которые вызваны резким торможением. Из-за них дополнительно возникает опасность наложения колебаний, если торможение началось до того, как колебания, вызванные началом движения, затухли, что усиливает их.

5) Для устранения опасности наложения колебаний, если процесс торможения начался до того, как колебания, вызванные началом движения, затухли, предложено использовать привод с частотой вращения, регулируемой устройством разгона привода.

### 3 Расчёт риска

Подъемные механизмы являются объектами повышенной производственной опасности и их эксплуатация сопряжена с возможностью возникновения аварийных ситуаций как с негативными технико-экономическими, так и социальными последствиями.

Поэтому в нормативно- распорядительной документации Ростехнадзора России содержатся требования о необходимости выполнения риск-анализа при про- ведении работ по экспертному диагностированию технического состояния грузоподъемных кранов, исчерпавших нормативный срок эксплуатации, с учетом количества и наименования выявленных дефектов.

Решению этой задачи посвящен ряд исследований, выполненных преимущественно в течение нескольких последних лет, однако следует признать, что данная работа находится в начальной стадии и требуется как целенаправленное накопление эксплуатационной информации об особенностях формирования и развития дефектов в несущих металлоконструкциях, механизмах и системах кранов, так и разработка адекватных методов проведения риск-анализа грузоподъемных механизмов, учитывающих индивидуальные особенности их конструктивного исполнения, режимов и условий эксплуатации, тяжести последствий возможных аварийных ситуаций.

Достаточно эффективным для оценки рисков, связанных с раскачиванием груза на подвеске является подход на основе экспертных оценок. Экспертная группа была сформирована из специалистов в области проектирования и эксплуатации грузоподъемных кранов в составе 10 человек, имеющих многолетний опыт научной или практической работы и базовое или профильное образование. Для получения первичной информации от экспертов был разработан опросный лист, включающий 5 вопросов и бланк для ответов, в котором были перечислены все потенциально возможные дефекты, встречающиеся при проведении экспертного диагностирования грузоподъемных механизмов.

В ходе опроса были обработаны мнения экспертов относительно влияния дефектов на величину экономического ущерба от повреждения собственно крана и транспортируемого груза.

Экономический ущерб от повреждения собственно ГПМ:

- недопустимая общая деформация металлоконструкции стрелы;
- недопустимая общая деформация металлоконструкции рамы;
- недопустимые местные деформации элементов металлоконструкции стрелы (расколов, стоек, поясов, сплошных листовых элементов);
- недопустимые местные деформации элементов металлоконструкции рамы;
- наличие трещин, непроваров и др. дефектов сварных швов металлоконструкции стрелы;
- наличие трещин, непроваров и др. дефектов сварных швов металлоконструкции рамы;

- повышенная атмосферная коррозия элементов металлоконструкции и сварных швов стрелы;
  - повышенная атмосферная коррозия элементов металлоконструкции и сварных швов рамы;
  - повышенная атмосферная коррозия элементов металлоконструкции и сварных швов рамы;
  - недопустимый износ шарнирных соединений стрелы с рамой;
  - недопустимый износ дорожек качения опорно-поворотного устройства;
  - обрыв элементов болтовых соединений, недопустимый износ отверстий болтовых соединений опорно-поворотного устройства;
  - наличие трещин, обломов, выкрашивания, пластической деформации, износа зубчатой передачи механизма поворота;
  - отсутствие или отказ ограничителя подъема крюка;
  - отсутствие или отказ ограничителя или указателя грузоподъемности;
  - отсутствие или отказ сигнализатора опасного напряжения;
  - отсутствие или отказ креномера или сигнализатора крена;
  - отсутствие или отказ ограничителя рабочей зоны крана.
- Экономический ущерб от повреждения транспортируемого груза:
- недопустимая общая деформация металлоконструкции стрелы;
  - недопустимая общая деформация металлоконструкции рамы;
  - наличие трещин, несплавов и др. дефектов сварных швов металлоконструкции стрелы;
  - недопустимый износ шарнирных соединений стрелы с рамой;
  - обрыв элементов болтовых соединений;
  - обрыв элементов болтовых соединений, недопустимый износ отверстий болтовых соединений опорно-поворотного устройства;
  - недопустимое повреждение грузового каната;
  - недопустимое увеличение ширины зева крюка;
  - отсутствие или деформация предохранительной скобы крюковой подвески;
  - наличие трещин, надрывов на поверхности хвостовика крюка;
  - наличие трещин и изломов реборд канатных блоков;
  - неудовлетворительная регулировка тормозов, отсутствие требуемого тормозного момента;
  - наличие трещин, изломов, расслоений тормозных шкивов или обкладок колодок;
  - недопустимый износ по глубине, волнистость поверхности тормозных шкивов или обкладок колодок;
  - наличие изломов или недопустимых остаточных деформаций пружин тормозов;
  - отсутствие или отказ ограничителя подъема крюка;
  - отсутствие или отказ ограничителя или указателя грузоподъемности;

- отсутствие или отказ креномера или сигнализатора крана;
- отсутствие или отказ ограничителя рабочей зоны крана.

Статистическая обработка ответов экспертов на вопросы опросного листа позволила выявить средневзвешенное коллективное мнение о степени влияния соответствующего дефекта грузоподъемного механизма на стоимость ремонта после аварии, вызванной данным дефектом. Результаты приведены на рисунке 19.

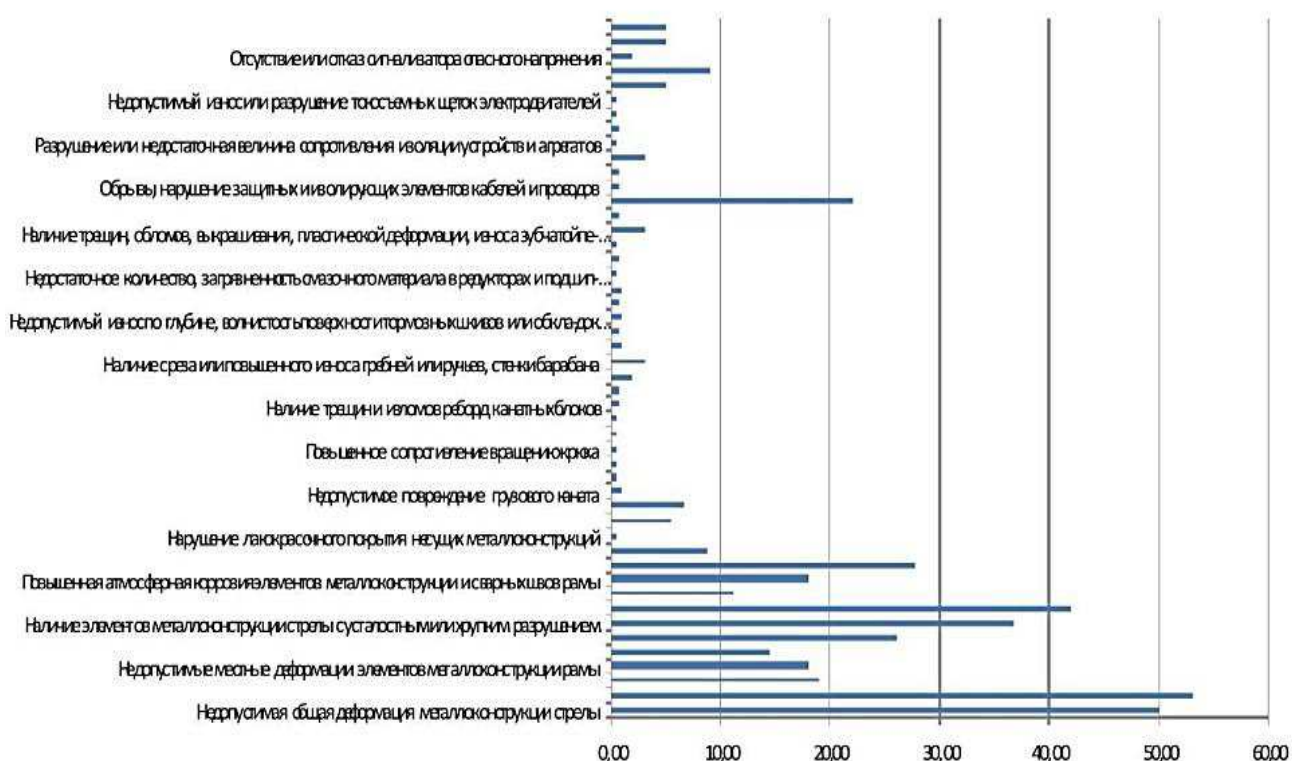


Рисунок 19 - Результаты средневзвешенной оценки экспертов относительной стоимости ремонта грузоподъемного механизма после аварии, вызванной соответствующим дефектом (в % от общей стоимости грузоподъемного механизма)

Осредненная оценка стоимости ремонта была рассчитана как:

$$\bar{y}_{ij}^{(k)} = 0,1 \sum_{m=1}^{m=10} y_{ij,m}^{(k)}, \quad (17)$$

где  $\bar{y}_{ij}^{(k)}$  - среднее значение количественной оценки поставленного  $m$ -м экспертом балла  $x_{ij,m}$ , при ответе на  $k$ -й вопрос опросного листа ( $k=2, 3, 4$ ).

Статистическая обработка ответов экспертов также позволила выявить средневзвешенное коллективное мнение о степени влияния соответствующего дефекта крана на величину повреждения перемещаемого груза, вызванного

соответствующим дефектом. Результаты приведены на рисунке 20, причем величина повреждения представлена как относительная величина, т.е. выражена в процентах от стоимости груза.

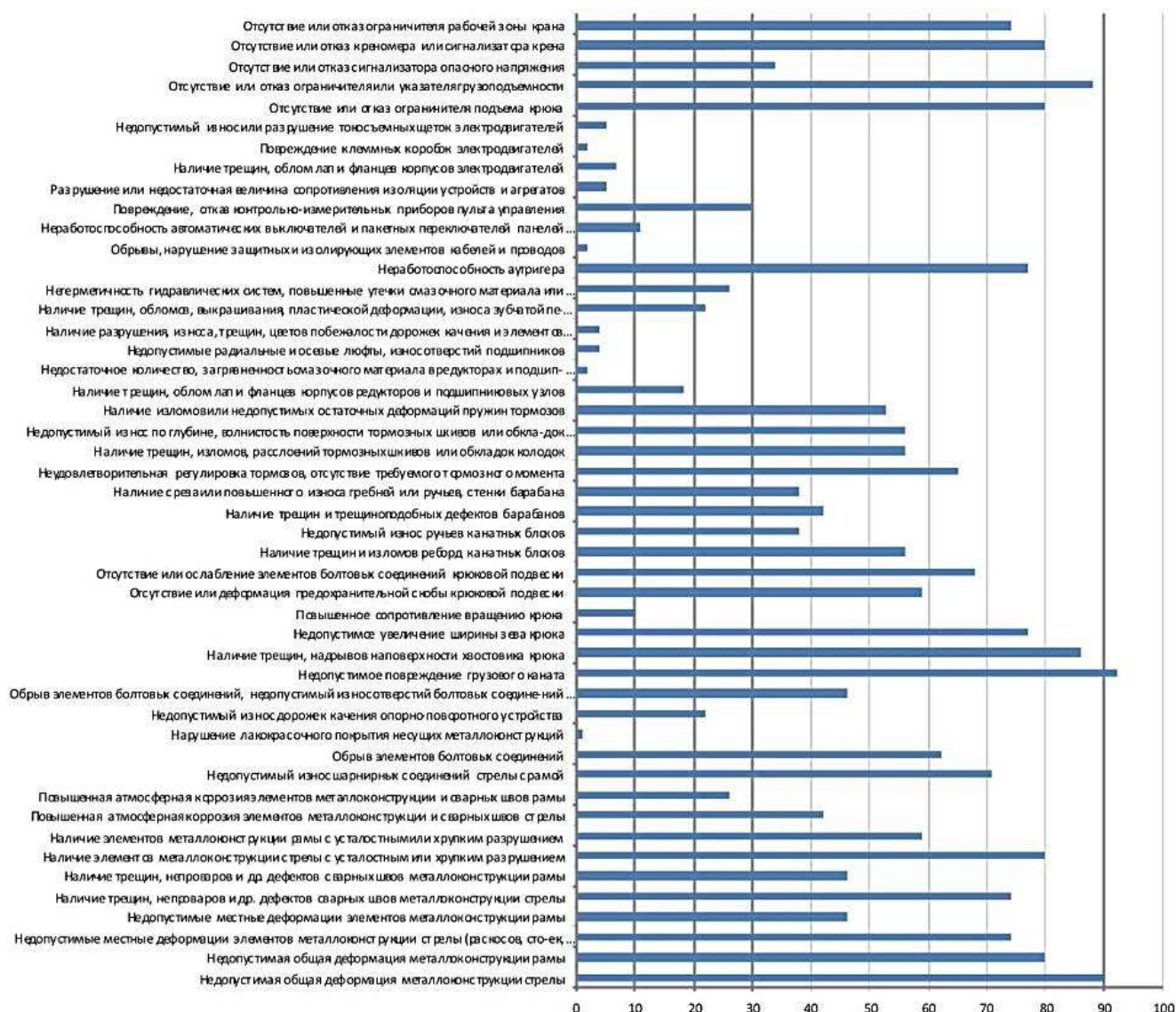


Рисунок 20 – Результаты средневзвешенной оценки экспертов относительной стоимости повреждения перемещаемого груза, вызванного соответствующим дефектом ( в % от стоимости груза)





$$p_{ij} \approx \frac{1}{L_{cr}} \sum_{l=1}^{l=L_{cr}} \frac{n_{ij}}{\Delta T_l}, \quad (18)$$

где  $L_{cr}$  - общее число обследованных ГПМ;

$\Delta T_l$  - промежуток времени, выраженный в календарных годах, между двумя диагностическим обследованиями  $l$ -го механизма;

$n_{ij}$  - число раз возникновения  $ij$ -го дефекта за промежуток времени  $\Delta T_l$ .

Наряду с имеющимися результатами средневзвешенной оценки экспертами величины предполагаемого экономического ущерба, вызванного соответствующим дефектом, знание вероятностей  $p_{ij}$  позволяет выполнить ориентировочную оценку величины технического риска при эксплуатации грузоподъемных механизмов с помощью зависимости:

$$R_T = \sum_{ij} R_{Tij} = \sum_{ij} p_{ij} \bar{y}_{ij}, \quad (19)$$

где  $R_{Tij}$  - технический риск вследствие отказа из-за возникновения  $ij$ -го дефекта;

$p_{ij}$  - вероятность возникновения  $ij$ -го дефекта в пределах одного календарного года.

Расчет технического риска по формуле (19) применительно к грузоподъемным механизмам с учетом приведенных выше экспериментальных статистических данных, экспертных оценок и средних рыночных цен на детали ГПМ показал, что величина технического риска составляет  $R_T \sim 85\,000$  руб./год.

Представленная методика оценки технического риска позволяет выполнять приближенные оценки или экспресс-оценки значения технического риска в процессе эксплуатации указанных грузоподъемных машин в условиях недостаточности необходимой информации о величине слагаемых риска – вероятностях возникновения отказов вследствие проявления тех или иных характерных дефектов металлоконструкции, механизмов движения, систем энергообеспечения и безопасности, а также связанного с этим экономических потерь.

При проведении данных расчетов была доказана эффективность предлагаемых мероприятий по повышению безопасности грузоподъемных механизмов. Анализ рассмотренных выше характеристик снижения риска позволяет сделать вывод о том, что любое мероприятие, направленное на снижение риска, как правило, имеет свою «цену» [45-50].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1) В работе проведен анализ состояния безопасности работающего оборудования с грузом на тросовой подвеске и сравнение основных методов её обеспечения. Изучены основные виды применяемого в промышленности грузоподъемного оборудования, их краткие характеристики и особенности. Рассмотрены типичные виды неисправностей, связанные с работой подъемного оборудования.

2) На основе данных технической литературы, информации о современных применяемых технологиях и запатентованных изобретений осуществлен анализ способов и технических устройств гашения вертикальных колебаний грузов.

3) На основе проведенного литературного обзора выдвинуто предположение о необходимости установления математической зависимости периода колебаний от высоты подвеса и массы груза, как при подъеме, так и при опускании груза, требуемой для внедрения в основу разработки автоматических систем торможения для устранения вертикальных колебаний груза.

4) В ходе экспериментальных исследований на базе программного обеспечения ADC8\_TU, виброаппаратуры ВИБ-6ТН и электрической тали грузоподъемностью 0,5 т была подтверждена зависимость периода колебаний от высоты подвеса и массы груза. Изложены результаты проведенного математического моделирования, описаны способ и ход проведения эксперимента, доказана целесообразность применения результатов в качестве основы для дальнейшей модернизации средств обеспечения безопасности и снижения уровня колебаний грузов.

5) Изучена возможность внедрения результатов экспериментальных исследований в предлагаемые современным рынком комплексные технические системы, обеспечивающие безопасность грузоподъемных механизмов.

6) С учетом экспериментальных статистических данных, экспертных оценок и средних рыночных цен на детали грузоподъемных механизмов выполнена ориентировочная оценка величины технического риска в случае отказа от применения рассматриваемых технологий, обеспечивающих безопасность грузоподъемных механизмов.

Использование предлагаемого метода обеспечения безопасности работающего оборудования с грузом на тросовой подвеске позволяет значительно снизить риски, связанные с вертикальным раскачиванием груза, внедрение данного метода технически возможно, и в то же время экономически целесообразно.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1) Гринаш, О.А. Грузоподъемные механизмы и транспортные средства: учебное пособие / О. А. Гринаш. - Волгоград : Ин-Фолио, 2009. - 223 с.
- 2) Невзоров, Л.А. Краны башенные и автомобильные : учебное пособие / Л. А. Невзоров, М. Д. Полосин. - Москва : Academia, 2005. - 415 с.
- 3) Вайник, В.А. Расчет и проектирование металлоконструкций мостового двухбалочного крана: учебное пособие / В.А. Вайник, Л.Ф. Москвичева. – Красноярск. – СФУ, 2012. – 129 с.
- 4) Лалаянец, Р.А. Расчеты крановых механизмов и их деталей / Р.А. Лалаянец. – М.: ВНИИПТМАШ, 1993. – 163 с.
- 5) Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения» [Электронный ресурс] : приказ Ростехнадзора от 12.11.2013 N 533 ред. от 12.04.2016 // Справочная правовая система «КонсультантПлюс». – Режим доступа: <http://www.consultant.ru>.
- 6) Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Основные требования к проведению неразрушающего контроля технических устройств, зданий и сооружений на опасных производственных объектах» [Электронный ресурс] : приказ Ростехнадзора от 21.11.2016 N 490// Справочная правовая система «КонсультантПлюс». – Режим доступа: <http://www.consultant.ru>.
- 7) ОСТ 35-09-86 Машины и оборудование грузоподъемные. Общие технические условия. - Введ. 01.08.1986. – Москва : Министерство транспортного строительства СССР, 1986. – 52 с.
- 8) ОСТ 34 001-73 Оборудование грузоподъемное. Требования к материалам. - Введ. 01.07.1978. – Москва : Министерство энергетики и электрификации СССР, 1978. – 86 с.
- 9) ГОСТ 33166.1.-2014 Краны грузоподъемные. Требования к механизмам. Часть 1. Общие положения. - Введ. 01.01.2016. – Москва: Стандартинформ, 2015. – 37 с.
- 10) ГОСТ 27555-87 Краны грузоподъемные. Термины и определения. -Введ. 01.01.1989. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 1988. – 26 с.
- 11) ГОСТ 33714.1-2015 Краны грузоподъемные. Технический контроль. Часть 1. Общие положения. - Введ. 01.04.2017. – Москва : Стандартинформ, 2016. – 16 с.
- 12) ГОСТ 25835-83 Краны грузоподъемные. Классификация механизмов по режимам работы. - Введ. 01.01.1985. – Москва : Стандартинформ, 2010. – 8 с.
- 13) ГОСТ 25032-81 Средства грузозахватные. Классификация и общие технические требования. - Введ. 01.01.1983. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 2002. – 6 с.

14) ГОСТ 24599-87 Грейферы канатные для навалочных грузов. Общие технические условия. - Введ. 01.01.1989. – Москва : Издательство стандартов, 1987. – 20 с.

15) Устройство для гашения колебаний груза, повешенного на канате строительного крана [Электронный ресурс] : пат. 2280607 РФ / Л.А.Голдобина, А.П.Орлов, П.С.Орлов. №2004115124/11; заявл. 19.05.2004; опубл.27.07.2006. – Режим доступа: <http://new.fips.ru/>.

16) Способ предотвращения раскачивания при подъеме груза грузоподъемным краном и устройство для его реализации [Электронный ресурс] : пат. 2312814 С1 РФ. / М.И.Затравкин, Л.С.Каминский, Д.М.Маш и др. №2006106627/11; заявл. 03.03.2006; опубл.20.12.2007. – Режим доступа: <http://new.fips.ru/>.

17) Способ уменьшения раскачивания груза при подъеме стреловым краном и система его осуществления [Электронный ресурс] : пат. 2422354 РФ / А.В.Ерзутов, М.И.Затравкин, Л.С.Каминский и др. №2010109394/11; заявл.15.03.2010; опубл. 27.06.2011. – Режим доступа: <http://new.fips.ru/>.

18) Щербаков, В. С. Система гашения пространственных колебаний груза, перемещаемого мостовым краном / В. С. Щербаков, М. С. Кобытов, Е. О. Вольф // Вестник СибАДИ. Научный рецензируемый журнал. – Омск: СибАДИ. – 2014. – № 6 (40).– С. 43-46.

19) Щербаков, В. С. Экспериментальные исследования рабочего процесса кран-балки / В. С. Щербаков, М. С. Кобытов, Е. О. Вольф // Вестник СибАДИ: Научный рецензируемый журнал. – Омск: СибАДИ. – 2014. – № 2 (36).– С. 87-93.

20) Кобытов, М. С. Способ повышения точности траектории перемещения объекта грузоподъемным краном путем компенсации его неуправляемых пространственных колебаний / М.С. Кобытов, В.С. Щербаков, Е.О. Вольф // Механизация строительства. – 2014. – № 2. – С. 21-25.

21) Кобытов, М. С. Автоматизация синтеза оптимальных траекторий перемещения грузов мобильными грузоподъемными кранами в неоднородном организованном трехмерном пространстве: монография / М. С. Кобытов. – Омск: СибАДИ, 2012. – 380 с.

22) Щербаков, В. С. Результаты сравнительного анализа алгоритмов планирования траектории движения объекта с учетом его угловых координат в трехмерном пространстве с препятствиями / В.С. Щербаков, М. С. Кобытов // Вестник СибАДИ: Научный рецензируемый журнал. – Омск: СибАДИ. – 2011. – № 1 (19).– С. 68-74.

23) Безопасность жизнедеятельности в техносфере: учебное пособие / под ред. О.Н. Русака, В.Я. Кондрасенко. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2001. – 431 с.

24) Россия в цифрах 2017: крат. стат. сб. / Росстат-М., 2017 –543с

25) Система гашения пространственных колебаний груза, перемещаемого мостовым краном [Электронный ресурс] : пат. №137281 РФ, МПК В66С17/00. Мостовой кран / Галдин Н.С., Ерёмина С.В., Курбацкая О.В.; заявитель

и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ)». - N 2013135354/11; заявл. 26.07.2013; опубл 10.02.2014. – Режим доступа: <http://new.fips.ru/>.

26) Александров, М.П. Подъемно-транспортные машины: учебное пособие / М.П. Александров – М.: Высш. Шк., 1985. – 520 с.

27) Способ управления грузоподъемным краном и устройство для его реализации [Электронный ресурс] : пат. 2309112 РФ / М.И.Затравкин, Л.С.Каминский, Д.М.Маш и др. №2006106630/11; заявл.03.03.2006; опубл.27.10.2007. – Режим доступа: <http://new.fips.ru/>.

28) Способ предотвращения раскачивания при подеме груза грузоподъемным краном и устройство для его реализации [Электронный ресурс] : пат. 2312814 С1 РФ. / М.И.Затравкин, Л.С.Каминский, Д.М.Маш и др. №2006106627/11; заявл. 03.03.2006; опубл.20.12.2007. – Режим доступа: <http://new.fips.ru/>.

29) Способ предотвращения раскачивания груза на гибком подвесе [Электронный ресурс]: патент №2406679 РФ. / В.А.Коровин, К.В.Коровин. №2009106112/11; заявл.20.02.2009; опубл.20.12.2010. – Режим доступа: <http://new.fips.ru/>.

30) Способ уменьшения раскачивания груза при подъеме стреловым краном и система его осуществления [Электронный ресурс]: пат. 2422354 РФ / А.В.Ерзутов, М.И.Затравкин, Л.С.Каминский и др. №2010109394/11; заявл.15.03.2010; опубл. 27.06.2011– Режим доступа: <http://new.fips.ru/>.

31) Голдобина Л.А., Орлов П.С. Пути обеспечения надежности, безопасности и эффективности строительно-монтажных работ при возведении зданий и сооружений путем стабилизации процесса раскачивания грузового подвеса// Записки горного института. -2016. – С. 322–330.

32) Кабаков А. М., Пабат А. И., Орлов А. Н. Защита машиниста крана от вибраций // Безопасность труда в промышленности, 1997, № 5, с. 25–27

33) Кoryтов, М. С. Способ повышения точности траектории перемещения объекта грузоподъемным краном путем компенсации его неуправляемых пространственных колебаний / М.С. Кoryтов, В.С. Щербаков, Е.О. Вольф // Механизация строительства. – 2014. – № 2. – С. 21-25.

34) Орлов А.П. Способы и пути безопасного использования техники в сельском строительстве // Сборник научных трудов по материалам международных научно - практических конференций «Инновационно - эффективный вектор развития АПК региона» и «Потенциал молодых в практику сельскохозяйственного производства». - Ярославль, 2010. - С. 118 - 126.

35) Специальные электрические машины / А.И. Бертинов [и др.]. - М.: Энергоиздат, 1982, - 440 с.

36) Гернет М.М., Ратобыльский В.Ф. Определение моментов инерции // М.: Машиностроение, - 1969. – с.246

- 37) Методология повышения надежности грузоподъемного оборудования при обеспечении требуемых критериев риска : диссертация доктора технических наук : 05.02.02 / Емельянова Галина Александровна; [Место защиты: Моск. гос. ун-т путей сообщ. (МИИТ) МПС РФ]. - Москва, 2016. - 280 с.
- 38) Казаков, А. В. Планирование эксперимента и измерение физических величин: учеб. пособие/ А. В. Казаков. –Пермь: изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2014. –89 с.
- 39) ГОСТ 24026-80. Исследовательские испытания. Планирование эксперимента. Термины и определения. - Введ. 01.01.1981. – Москва: Издательство стандартов, 1979. – 18 с.
- 40) Вознесенский, В. А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях / В. А. Вознесенский –2-е изд., перераб и доп. –Москва: Финансы и статистика, 1981. –263 с.
- 41) Бутковский, О. Я. Погрешность измерений: учебное пособие / О. Я. Бутковский, О. Д. Бухарова, А. А. Кузнецов, под. ред. А. А. Кузнецова – Владим. гос. ун-т –Владимир, 1998 –68 с.
- 42) Адлер, Ю. Л. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. Л. Адлер. –Москва: изд-во Наука, 1976. –277 с
- 43) Голицына О.Л. Программное обеспечение / О. Л. Голицына, Т. Л. Партыка, И. И. Попов. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : Форум, 2010 . – 447 с.
- 44) Брауде, В. Д. Справочник по кранам: В 2 т. Т. 1. Характеристики материалов и нагрузок. Основы расчетов кранов, их приводов и металлических конструкций / М. М. Гохберг, И. Е. Звягин и др.; под общ. ред. М. М. Гохберга. - Л.: Машиностроение, 1988. - 536 с.
- 45) Носов, В.В. Диагностика машин и оборудования : учебное пособие / В.В. Носов - СПб: «Лань», 2016. - 384 с.
- 46) Котельников, В.С. Диагностика и риск-анализ металлических конструкций грузоподъемных кранов / В.С. Котельников, А.А. Короткий. - Новочеркасск: УПЦ «Набла» ЮРГТУ (НПИ), 2006. – 315 с.
- 47) Олейников, А. В. Методы принятия решений: метод указания к практическим работам / сост. А. В. Олейников, В. А. Васильев. – Абакан: Сиб. Фед. ун-т; ХТИ –филиал СФУ, 2008. –36 с.
- 48) Анцев, В.Ю. Классификация дефектов и отказов грузоподъемных машин / В.Ю. Ан-цев, П.В. Витчук, К.Ю. Крылов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. - 2015. - № 10. - С. 121-128.
- 49) Литвак, Б.Г. Экспертные оценки и принятие решений / Б.Г. Литвак. – М.: Патент, 1996. – 270 с.
- 50) Вишняков, Я.Д. Общая теория рисков / Я.Д. Вишняков, Н.Н. Радаев. – М.: Академия, 2008. – 368 с.


51) СТО 4.2–07–2014 Система менеджмента качества. Общие требования к построению, изложению и оформлению документов учебной деятельности. – Введ. 30.12.2013. – Красноярск: ИПК СФУ, 2014. – 60 с.



Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Политехнический институт  
Кафедра «Инженерная экология и безопасность жизнедеятельности»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

  
Т.А. Кулагина  
подпись инициалы, фамилия  
«26» 06 2018г.

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Повышение безопасности работающего оборудования  
с грузом на тросовой подвеске

Тема

20.04.01 «Техносферная безопасность»

Код и наименование направления

20.04.01.01 «Безопасность жизнедеятельности в техносфере»

Код и наименование магистерской программы

Научный руководитель

  
подпись, дата

доцент, к.т.н.

должность, ученая степень

Л.Н. Горбунова

инициалы, фамилия

Выпускник

  
подпись, дата

Е.А. Уранова

инициалы, фамилия

Рецензент

  
подпись, дата

доцент, к.т.н.

должность, ученая степень

Е.П. Грищенко


инициалы, фамилия

Красноярск 2018

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Политехнический институт  
«Инженерная экология и безопасность жизнедеятельности»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 Кулагина Т. А.

2018 г.

**ЗАДАНИЕ  
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ  
в форме магистерской диссертации**

Студенту Урановой Екатерине Александровне  
Группа ФЭ16-07М  
Направление (специальность): 20.04.01 «Техносферная безопасность»  
Программа: 20.04.01.01 «Безопасность жизнедеятельности в техносфере».  
Тема выпускной квалификационной работы: «Повышение безопасности  
работающего оборудования с грузом на тросовой подвеске»  
Утверждена приказом по университету № 6744/с от 10.05.2018 г.  
Руководитель ВКР: Л.Н. Горбунова, к.т.н., доцент ПИ СФУ кафедра  
«ИЭиБЖД»  
Исходные данные для ВКР: нормативно-правовая база; справочная  
литература; учебная литература  
Перечень разделов ВКР:  
1. Анализ способов и технических устройств гашения колебаний груза  
2. Объекты и методы исследования  
3. Расчёт риска  
Перечень графического или иллюстративного материала с указанием  
основных чертежей, плакатов, слайдов:  
Лист 1 – Таль электрическая. Сборочный чертеж  
Лист 2 – Способ предотвращения раскачивания груза на гибком подвесе  
Лист 3 – Тельфер электрический канатный марки Т 10232 / Т 10236  
Лист 4 – Экспериментальные графики зависимости периода колебания  
от длины каната и массы груза  
Лист 5 - Математическое описание зависимости частоты колебаний  
от массы груза и длины троса

Руководитель ВКР



ПОДПИСЬ

Л.Н.Горбунова  
инициалы, фамилия

Задание принял к исполнению



ПОДПИСЬ

Е.А. Уранова  
инициалы, фамилия

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018 г.

## КАЛЕНДАРНЫЙ ГРАФИК

выполнения этапов ВКР

Наименование и содержание этапа	Сроки выполнения
Литературный обзор методов повышения безопасности грузоподъемного оборудования.	10.10.2016 – 10.12.2016
Продолжение исследования литературы, патентов, книг и статей по вопросу обеспечения безопасности работающего оборудования с грузом на тросовой подвеске.	12.01.2017 – 12.05.2017
Экспериментальный анализ, сравнение эффективности рассматриваемых методов.	16.10.2017 – 12.12.2017
Оформление лабораторных исследований, расчет риска.	12.01.2018 – 17.03.2018
Оформление пояснительной записки.	20.04.2018 – 12.05.2018
Графическое оформление чертежей, доклада.	17.05.2018 – 10.06.2018

Руководитель ВКР

Задание принял к исполнению

  
подпись, дата  
  
подпись, дата

Л.Н.Горбунова  
инициалы, фамилия

Е.А.Уранова  
инициалы, фамилия