

**ИНСТИТУТ МАШИНОВЕДЕНИЯ, АВТОМАТИКИ И ГЕОМЕХАНИКИ  
НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

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

На правах рукописи  
УДК 621.332.331.4:622.673

**Таштанбаева Венера Орозбековна**

**Разработка и реализация системы автоматического контроля натяжения  
несущих канатов шахтных подъемных установок**

05.05.06 – горные машины

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

|                                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Научный руководитель:</b><br/>доктор технических<br/>наук, профессор<br/>Шамсутдинов М.М.</p> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|

**Бишкек – 2025**

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                            |            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Перечень сокращений и обозначений</b>                                                                   | <b>4</b>   |
| <b>Введение</b>                                                                                            | <b>6</b>   |
| <b>Глава 1. Обзор литературы. Обзор и анализ систем контроля шахтных подъемных установок</b>               | <b>11</b>  |
| 1.1. Анализ несчастных случаев, произошедших из-за обрыва стального каната                                 | 12         |
| 1.2. Причины разрыва стальных канатов                                                                      | 16         |
| 1.3. Обзор и анализ систем контроля натяжения стальных канатов                                             | 20         |
| 1.4. Обзор и анализ требований безопасной эксплуатации шахтных подъемных установок в Кыргызской Республике | 28         |
| Выводы по Главе 1                                                                                          | 39         |
| <b>Глава 2 Методология и методы исследования контроля натяжения несущих канатов</b>                        | <b>41</b>  |
| 2.1. Методы и средства контроля натяжения стальных канатов в процессе эксплуатации подъемных установок     | 41         |
| 2.2. Алгоритм работы системы контроля натяжения стального каната                                           | 53         |
| 2.3. Методика механического измерения контроля натяжения стальной проволоки                                | 60         |
| Выводы по Главе 2                                                                                          | 63         |
| <b>Глава 3 Математическое исследования натяжения стальных проволок несущих канатов</b>                     | <b>65</b>  |
| 3.1. Математическое моделирование динамического движения подъемной установки в стволе шахты                | 65         |
| 3.2. Численные расчеты изменения температуры каната при одноосном растяжении                               | 72         |
| 3.3. Системы автоматического контроля на подъемной установке                                               | 77         |
| Выводы по Главе 3                                                                                          | 84         |
| <b>Глава 4 Экспериментальные исследования натяжения стальных проволок несущих канатов</b>                  | <b>85</b>  |
| 4.1. Проведения измерений механического контроля натяжения опытного образца проволоки стального каната     | 85         |
| 4.2. Автоматическое устройство контроля натяжения стального каната подъемной установки                     | 90         |
| 4.3. Проведение измерений по механическим свойствам стальных проволок                                      | 92         |
| Выводы по Главе 4                                                                                          | 102        |
| <b>Заключение</b>                                                                                          | <b>104</b> |

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| <b>Список литературы</b> | 106 |
| <b>Приложения</b>        | 115 |
| <b>Приложение 1</b>      | 116 |
| <b>Приложение 2</b>      | 122 |
| <b>Приложение 3</b>      | 130 |
| <b>Приложение 4</b>      | 131 |

## **ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ**

ШПУ – Шахтные подъемные установки;

КГТУ – Кыргызский государственный технический университет

НИЦ – Научно-исследовательский центр

ИМА НАН КР- Институт машиноведения Национальной академии наук Кыргызской Республики

АО - Акционерное общество

ОАО - Открытое акционерное общество

ГМК - Горно-металлургическая компания

УТЭН - Управление по технологическому и экологическому надзору

ГОК –Горно-обогатительный комбинат

США - Соединенные штаты Америки

ООО -Общество с ограниченной ответственностью

ЛПК - Лесоперерабатывающий комбинат

КБТ – Кран башенный

КСТ – Кран самоходный

ЦУМ – центральный универсальный магазин

КР- Кыргызская Республика

МакНИИ- Макеевский научно-исследовательский институт по безопасности работ в горной промышленности

ОНК - Ограничитель натяжения канатов

АКНК - Автоматический контроль натяжения канатов

АЗСП – Автоматическая защита от схода подвески

АПИК – Аппаратура принудительной изоляции каната

АЗНК – Автоматическая защита натяжения каната

СССР – Союз советских социалистических республик

АЗН – Автоматическая защита натяжения

ИИСК – Интегрированная информационная система контроля

ДСК – Датчик схода каната

ФРГ – Федеративная Республика Германия

ВИК - Выносной индикатор контроля

ЭВД – Электронный вычислительный директор

ТР ТС - Технический регламент Таможенного союза

ПБ – Правила безопасности производственных процессов строительства и эксплуатации подземных объектов, не связанных с добычей полезных ископаемых, а также объектов добычи полезных ископаемых подземным способом;

ГКПЭиН – Государственный комитет промышленности, энергетики и недропользования Кыргызской Республики.

АКС - Автоматическая канатная система

ЭДС - Электродвижущая сила

## **ВВЕДЕНИЕ**

### **Актуальность темы диссертации.**

Известно, что современная шахтная подъемная установка является дорогостоящей в создании, сложной в эксплуатации и трудоемкой в обслуживании и ремонте горной машиной. Основное предназначение шахтной подъемной установки (ШПУ) — это подъем полезного ископаемого из подземных горизонтов, а также для выполнения спускоподъемных операций, связанных с транспортировкой рабочего персонала, материалов и горного оборудования в процессе эксплуатации горного предприятия.

Значительный износ оборудования может привести к значительным простоям, повышается опасность их эксплуатации.

Отсутствие надёжного контроля за работой и состоянием основных механических узлов подъёмной установки может привести к авариям, связанным с обрывом несущих канатов и, возможно, к гибели людей.

Внедрение системы технического диагностирования функциональных узлов подъемной установки на стадии монтажа, ремонта и в условиях эксплуатации обеспечивает возможность своевременно прогнозировать потенциальную неисправность и предотвратить наступление аварийной ситуации.

Поэтому в связи с вышесказанным дальнейшее совершенствование и разработка новых методов и средств технической диагностики контроля натяжения несущих канатов подъемных установок срок эксплуатации которых был продлен является актуальной.

**Связь темы диссертации с приоритетными научными направлениями, крупными научными программами (проектами), основными научно-исследовательскими работами, проводимыми образовательными и научными учреждениями.**

Данная диссертационная работа выполнена в соответствии с научно-исследовательской работой Кыргызского государственного технического

университета им. И. Раззакова на тему “ Совершенствование методов расчета и проектирования горных машин и механизмов с искусственным интеллектом”

### **Цель и задачи исследования.**

Целью диссертационной работы является разработка системы контроля натяжения несущих канатов шахтных подъемных установок для их защиты от аварий.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие научно-технические задачи.

### **Задачи исследования:**

1. Обзор и анализ несчастных случаев на шахтных подъемных установках, методов и средств контроля и защиты подъёмных установок от возможных аварий;
2. Составление математической модели движения подъемной установки в стволе шахты и алгоритм расчета времени разрыва несущего каната;
3. Разработка математической модели температурного изменения несущего каната от наложенного усилия;
4. Проведение экспериментального исследования непрерывного контроля основных элементов подъёмной установки с целью установления причин возникновения аварийных ситуаций, анализ результатов экспериментальных исследований и сопоставление теоретическими данными;
5. Разработка рекомендаций по повышению надежности работы несущего каната за счет неразрушающего контроля обрыва в случае силовой перегрузки и динамического удара;

### **Научная новизна полученных результатов** заключается в следующем:

1. Впервые разработана математическая модель, позволяющая определять время разрыва несущего стального каната шахтной подъемной установки при воздействии силовой нагрузки, что обеспечивает возможность прогнозирования аварийных ситуаций.

2. Впервые предложена и разработана математическая модель, описывающая температурное изменение несущего стального каната подъемной установки под влиянием силовой нагрузки, что является новым диагностическим параметром для оценки его напряженно-деформированного состояния.

3. Разработана принципиальная схема установки неразрушающего контроля натяжения несущего каната, которая интегрирует датчики натяжения в общую систему автоматического контроля для повышения надежности.

4. Впервые разработана конструктивная схема нового вида несущего каната с внедренными прядями для целей технической диагностики и обеспечения надежной связи между подъемной установкой и пунктом управления, что позволяет осуществлять непрерывный мониторинг целостности каната и передачу данных.

**Практическая значимость полученных результатов** заключается в следующем:

1. Разработана методика определения времени разрыва несущих канатов под воздействием эксплуатационных и аварийных нагрузок, что позволяет принимать обоснованные решения о сроках замены или снижении нагрузки;

2. Определены механические свойства несущих канатов подъемных установок влияющие на их долговечность, что обеспечивает возможность прогнозирования остаточного ресурса и повышение надежности ШПУ в процессе длительной эксплуатации;

3. Предложен разработка тягового каната интегрированный с проводными жилами, обеспечивающий непрерывную техническую диагностику его состояния и надежную связь между подъемной установкой и пунктом управления;

4. Предложен новый способ неразрушающего контроля несущих канатов шахтной подъемной установки.



### **Экономическая значимость полученных результатов:**

Годовой экономический эффект от внедрения устройства контроля натяжения стальных канатов на одной шахтной подъемной установке составит 1 801 470 – 3 165 690 сом, а кумулятивный эффект за пятилетний период достигает 9 007 350 – 15 828 450 сом, что обосновывает инвестиции и обеспечивает их быструю окупаемость.

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

1. Математическая модель позволяющая определить время разрыва несущего стального каната шахтной подъемной установки;
2. Математическая модель способствующая определить температурное изменение несущего стального каната подъемной установки при нагрузке;
3. Система автоматического контроля, включающая датчики натяжения способствующая улучшить контроль натяжения стального каната;
4. Тяговый канат для улучшения технической диагностики и обеспечения связи между подъемной установкой и пунктом управления.

**Личный вклад соискателя.** Диссертация является результатом законченных самостоятельных исследований, выполненных диссертантом. Личный вклад автора в получении научных результатов заключается в следующем: определение цели работы, выбор методов достижения поставленных целей, анализ полученных результатов и формулировке выводов, подготовка и публикация статей.

Все результаты, обладающие научной новизной и представленные в работе, получены диссертантом в процессе самостоятельных исследований, выполненных под непосредственным руководством научного руководителя. В совместных работах [15, 63, 72, 73] Шамсутдинову М.М. принадлежит постановка задачи исследования и помощь в выборе измерительной аппаратуры и техническая поддержка экспериментальных исследований.

В работах [47, 52] Шамсутдинову М.М. принадлежит постановка задачи исследования, а соавтору Козубай И. оказание помощи при составлении

математической модели времени разрыва и температурного изменения несущего каната при натяжении.

**Апробация работы.** Основные положения результатов исследования докладывались и обсуждались на научно-технических конференциях:

1. Международная научно-практическая конференция «Машиностроение: инновационные аспекты развития». (НИЦ «Машиностроение», г. Санкт-Петербург, 2019 г.);

2. Международный форум «Взаимодействие науки и практики: инновации в высшем образовании и профессиональной деятельности» (КГТУ им. И. Раззакова, г. Бишкек, 2021 г.);

3. Международная научно-практическая конференция «Теория машин и рабочих процессов» (ИМА НАН КР, г. Бишкек, 2021 г.);

4. Международная научно-практическая конференция «Наука, образование, инновации и технологии: оценки, проблемы, пути решения» (ИМА НАН КР, г. Бишкек, 2022 г.);

**Полнота отражения результатов диссертации в публикациях.** По результатам выполненных исследований опубликовано 14 печатных работ, включая: 11 статей в рецензируемых научных изданиях, 5 статей с импакт-фактором более 0.1, 2 статьи опубликованы в зарубежных изданиях, индексируемых в базе данных РИНЦ, 1 статья опубликована в издании, индексируемых в базе данных Scopus, 4 статьи написаны единолично, 2 патента КР на изобретение, 1 авторское свидетельство.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения. Общий объем диссертации 136 страниц машинописного текста, который включает 11 таблиц, 33 рисунка, а также библиографический список, содержащий 74 наименования.

Автор выражает искреннюю благодарность научному руководителю д.т.н., профессору Шамсутдинову М.М. и к.т.н. Козубай И., Клейменову В.М.

# **ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ. ОБЗОР И АНАЛИЗ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ ШАХТНЫХ ПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВОК**

Безопасность эксплуатации подъемных установок в условиях рыночной экономики в Кыргызстане имеет огромное значение. По Республике эксплуатируется около 4300 подъемных установок, включая шахты и рудники, из которых 80% требует замены или экспертизы на пригодность для дальнейшей эксплуатации.

Повышенный износ оборудования может привести к поломкам основного оборудования и длительным простоям, повышается также опасность их дальнейшей эксплуатации.

Основой для повышения эффективности и безопасности эксплуатации подъемных установок являются фундаментальные труды в области теории и практики академиков М.М. Федорова, А.П. Германа, Г.Н. Савина, А.В. Фролова.

А также большой вклад в решение проблемы без аварийной и эффективной эксплуатации подъемных установок внесли А.С. Ильичев, В.Б. Уманский, Ф.Н. Шклярский, Г.М. Еланчик, В.С. Тулин, К.М. Барамидзе, В.Д. Белый, П.П. Нестеров, З.М. Федорова, В.С. Траубе, А.Е. Троп, В.М. Чермалых, Б.А. Носырев, Г.В. Верстаков, А.Г. Степанов, С.М. Кубарев, А.Н. Шатило, В.Е. Католиков, Г.Х. Штремель, Ю.Р. Бредихин, А.Д. Динкель, В.И. Ключев, М.П. Александров, Э.С. Лапин, В.А. Макаров, П.И. Пахомов, М.М. Шамсутдинов, Балянов А.П., И.Н. Латыпов и др.

Работы этих ученых, труды научно – исследовательских и проектных институтов в области создания средств технической диагностики подъемных установок различного назначения послужили базовыми при формировании основных принципов, идей и методов исследования в данной диссертации.

### 1.1. Анализ несчастных случаев, произошедших из-за обрыва стального каната

Несчастные случаи, связанные с авариями на шахтных подъёмных установках, относительно редки. Но когда происходят, они приводят к травмам и гибели работников, и приносят финансовый ущерб предприятию, так как сопровождаются повреждением оборудования, длительными простоям производства или регулятивным штрафам и санкциям [1,2].

При авариях на подъемных установках, где 50% несчастных случаев связано с грузо-людскими подъемами и 45% – с бадьевыми, основными их причинами было несоблюдение правил техники безопасности. Чаще всего смертельный травматизм в стволах происходит в процессе обмена вагонеток в клетях с открытыми предохранительными дверями на горизонте и уменьшенной деблокировкой средств защиты 43%, во время падения зависшей рамки и обрыва каната бадьевого подъема 21%. Другие виды аварий, в том числе из-за переподъема и превышения скорости подъёма или спуска транспортного сосуда, приносят до 36% травмированных [3].

Показатели аварийности и травматизма при подземном способе добычи полезных ископаемых в период с 2001 по 2013 г. отражены в таблице 1.1 [4].

Таблица 1.1 -Аварийность и смертельный травматизм при подземной добыче полезных ископаемых

| Показатели аварийности и травмированных | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 |
|-----------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Кол-во аварий                           | 16   | 13   | 14   | 14   | 9    | 12   | 7    | 7    | 9    | 8    | 3    | 12   | 7    |
| Кол-во смертельно травмированных, чел   | 106  | 81   | 83   | 82   | 81   | 100  | 81   | 63   | 71   | 70   | 59   | 69   | 55   |

За период с 2013 по 2023 гг. в ведущих странах мира как Россия, Китай, Индия и США в результате горных работ по добыче полезных ископаемых погибло в общей сложности 3843 человека (рисунок 1.1). При сравнении

показателей травматизма при добычи полезных ископаемых за 2013-2023 гг. можно увидеть в таблице 1.2 [5].

Таблица 1.2 - Сравнительные показатели травматизма при подземном и открытом способах добычи полезных ископаемых за 2013–2023 гг.

| Показатель                                                              | Россия | США | Индия |
|-------------------------------------------------------------------------|--------|-----|-------|
| Количество смертельно травмированных при подземных горных работах, чел. | 267    | 83  | 205   |
| Количество смертельно травмированных при открытых горных работах, чел.  | 38     | 44  | 300   |

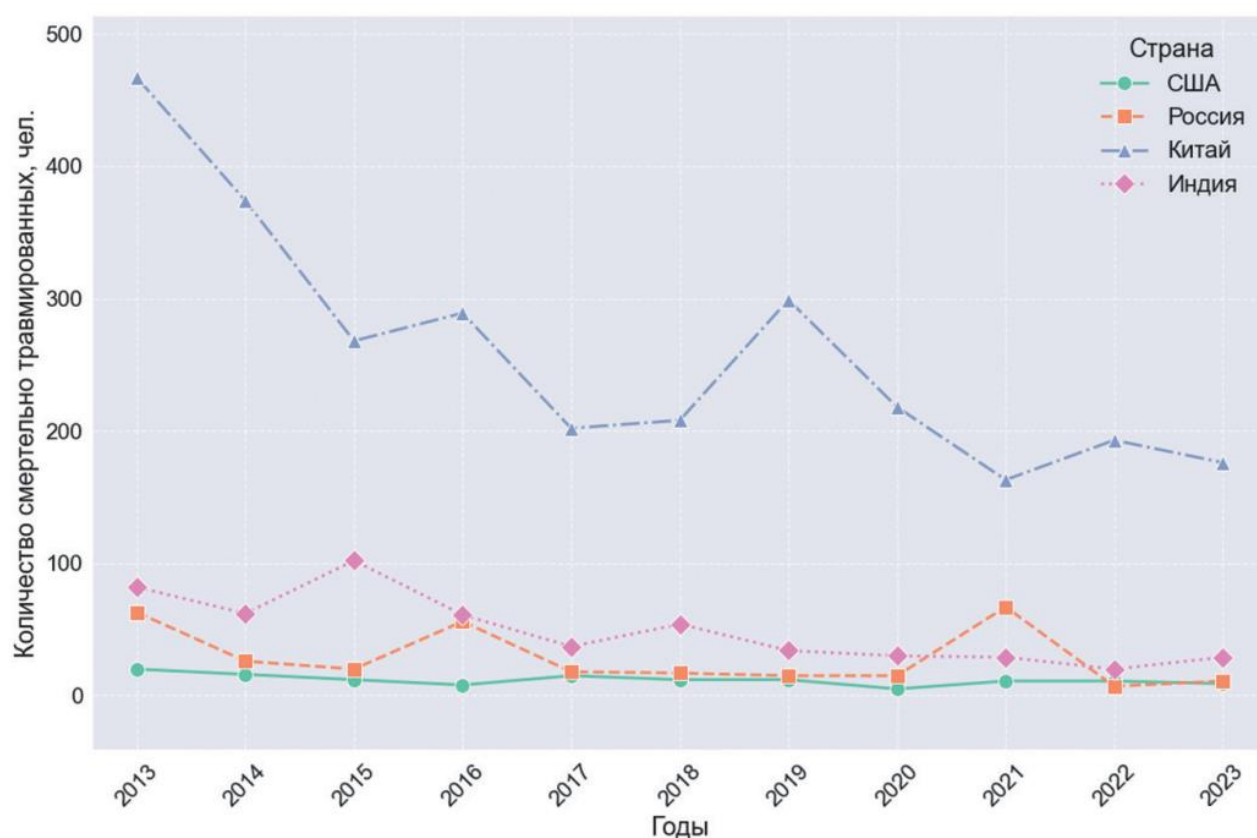


Рисунок 1.1 - Динамика количества смертельно травмированных при добыче полезного ископаемого по странам в 2013—2023 гг.[5]

Основываясь на статистике, можно сказать, что аварий, связанных с обрывом стального каната – немного, но они все же имеют место. Например, в 2017 г. на скиповом стволе шахты АО «Ново-Широкинский рудник» произошла авария: при спуске произошло зависание скипа (не сработала защита), на барабане подъёмной установки образовался напуск каната и его провисание

(защита сработала с запозданием), подъёмная машина затормозилась, затем канат дёрнулся и оборвался, а скип упал в зумпф ствола [4]. В марте 2011 г. на шахте «17-17 «бис» (г. Донец, Украина) застревание состава в стволе привело к обрыву головного каната [6]. В 2006 г. в ОАО «Кольская ГМК», ОАО «ГМК «Норильский никель» (Мурманская обл., г. Заполярный; УТЭН по Мурманской области) при разгрузке скипа на разгрузочных кривых (отм. +14 м) восточного наклонного ствола произошёл обрыв каната диаметром 32,5 мм. В результате чего пустой скип объёмом 3,2 м<sup>3</sup> самопроизвольно спустился по рельсовому пути на отметку гор. –365 м. Причиной обрыва каната был динамический удар, возникший при резкой остановке порожнего скипа в районе нулевой отметки площадки [7]. Аналогичная авария случилась в ОАО «Учалинский ГОК» (Республика Башкортостан, г. Учалы; УТЭН по Республике Башкортостан). Здесь, в 2006 г. на шахте «Скиповая» Учалинского подземного рудника, в процессе выдачи руды произошёл переподъём скипа с рудой на подъёмной установке МПБ-5×2,5×2,5. В результате чего канат подъёмной машины оборвался, и скип упал в ствол шахты [7]. В августе 2000 г. на Шахте № 2, Excel Mining LLC, расположенной у трассы Кентукки города Пилигрим (в округе Мартин, США) из-за провисания произошёл обрыв каната лебёдки, что привело к смерти 2 шахтеров [8].

Кроме того, аварии с обрывом каната характерны и для грузоподъёмных кранов, используемых в других отраслях промышленности. Например, в 2005 г. оборвался грузовой канат башенного крана КБ-572 в ООО «Новаторский ЛПХ» (г. Великий Устюг) в процессе подъёма пачки древесины (массой около 6 т). Обрыв каната произошёл из-за потери его прочности в результате обрыва проволок в прядях, по причине их истирания, при сошедшем с блока канате, об ось блока и болты крюковой подвески [9]. В 2004 г. на строительстве жилого дома во время подъёма железобетонной панели массой 7 т башенным краном КБТ 405, у него оборвался грузовой канат. На строительстве цеха при подъёме и перемещении с помощью пневмоколёсного крана КСТ 4361 фундаментных подушек, у него произошёл разрыв стрелового каната, приведший к падению

стрелы крана на строительную площадку. На строительстве дороги, во время подъёма бункера с бетоном автокраном КСТ 2561Д, у него оборвался стреловой канат, и стрела вместе с грузом упала на дорогу. На строительстве жилого дома, при опускании автомобильным краном КСТ 3561 (грузоподъемностью 10 т) стеновой панели массой 8,3 т, у него произошёл обрыв стрелового каната, упавшая стрела тяжело травмировала стропальщика [10]. В 2001 г. на строительной площадке в Альпах, во время прокладки в туннеле газопровода, в ходе опускания на канатной лебёдке сваренного участка трубопровода, произошёл обрыв каната, и груз упал на глубину более 600 м, в результате чего несколько рабочих погибли [11].

В Кыргызстане стальные канаты используются в подземных и открытых способах добычи полезных ископаемых, а также в лифтах и кранах. На протяжении 10-ти лет (2010–2020 гг.) в стране произошли аварии на лифтах, с различной тяжестью травматизма. В марте 2013 г. из-за неисправного лифта 4-месячный ребенок получил черепно-мозговую травму [12]. В марте 2015 г. в шахте лифта торгового центра ЦУМ «Айчурок» погибли 2 человека [13].

Длительная эксплуатация подъемной установки может привести к аварийной ситуации электродвигателя, износа редуктора, резкого увеличения числа повторных пусков, заклинивания электродвигателя, выхода из строя тормозного устройства, что может привести не только затруднительному пуску, но и обрыву несущего каната. Эти аварийные ситуации могут возникать по целому ряду причин:

- диагностика проводится редко;
- замена необходимых запчастей – ещё реже;
- отсутствие финансирования;
- отсутствие квалифицированных работников;

К другим причинам можно также отнести качество каната, изготовленного с использованием стальных проволок и прядей, отличающихся от заявленных производителем [14].

## 1.2. Причины разрыва стальных канатов

Как показывает статистика, обрыв стального каната зачастую происходит не вследствие высоких нагрузок в ожидаемом месте, а по причине коррозии стальных проволок внутри каната и высоких знакопеременных нагрузок. При сдавливании прядей стального каната изменяется кристаллическая структура и возникают неоднородные включения – зародыши старения, развивающиеся в коррозию [15]. Они являются скрытыми, внутренними дефектами проволоки, а потому не поддаются визуальному обнаружению. В нормальном состоянии поверхность стальных канатов остается гладкой, без признаков каких-либо физико-химических изменений на поверхности. Т.е., старение металла является одной из основных причин не только возникновения коррозии, но и причиной, вызывающей разрыв стального каната. Стальные канаты, стареют из-за вызванных нарушений кристаллической решетки, что запрограммировано еще на начальной стадии проектирования и изготовления каната. И зависит это, в первую очередь, от сплава и особенности технологии его получения [16]. Примеси, находящиеся в железе, образуют зародыши старения в самой кристаллической решетке, т.е. образуется неоднородное стальное волокно. Когда стальные канаты обрываются, сам обрыв происходит вдали от тех точек, где канат подвергается изгибу на барабане или шкиве. Стальные канаты имеют плотно прилегающие друг к другу пряди, другими словами, вступают в контакт по длине. Полоса контакта стягивает эту пару прядей в единое целое, обеспечивая переход зародышей из одной пряди в другую [15].

Во время длительной эксплуатации стальные канаты подвергаются воздействию различных негативных факторов, среди которых значительные напряжения, трение и износ, влажность и коррозия, пластическая деформация и т. д. [17]. Длительное воздействие негативных факторов на стальные канаты приводит к появлению различных дефектов [18,19] и, как следствие, к ухудшению потребительских характеристик канатов. Можно упомянуть наиболее типичные дефекты стальных канатов в процессе эксплуатации:

- обрыв каната,



- износ каната;
- коррозия каната;
- расплетание прядей и проволок в свивке;
- расплющивание и выдавливание прядей;
- уменьшение в поперечном сечении и т. д. (рисунок 1.2) [20,21].

На долговечность каната оказывает большое влияние перегибы каната на канатопроводящем шкиве и отводных блоках. Чем меньше перегибов делает канат на отводных блоках, тем дольше срок его службы [22,23].

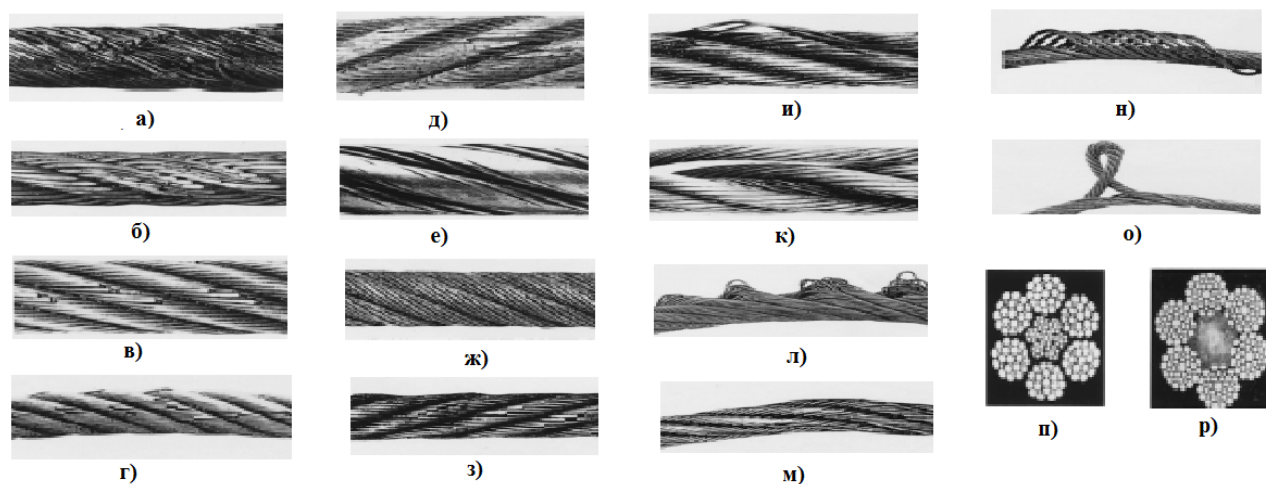


Рисунок 1.2 -Дефекты стальных канатов

а) механическое повреждение вследствие движения каната под нагрузкой по острому выступающему предмету; б) локализованный износ вследствие абразивного истирания на опорной конструкции; в) узкая полоса износа, приводящая к усталостным разрушениям, вызванным работой в слишком больших желобах или по слишком малым опорным роликам; г) две параллельные полосы оборванных проволок, свидетельствующие об изгибе при движении по слишком узкому желобу шкива; д) сильный износ, связанный с высоким опорным давлением; е) сильный износ каната односторонней свивки, вызванный абразивным истиранием; ж) сильная коррозия; з) порыв проволок в результате усталости при изгибе; и) порывы проволок в точках сопряжения прядей или прядей с сердечником в отличие от порывов на гребнях проволок; к) разрыв стального сердечника каната вследствие приложения высокого напряжения; л) вспученные проволоки вследствие неустойчивости к кручению или ударной нагрузки; м) типичный пример локализованного износа и деформации; н) вспучивание прядей многопрядного каната вследствие неустойчивости к кручению; о) выпучивание сердечника каната вследствие накопления кручения; п) внутренняя коррозия, в то время как наружная поверхность имеет мало признаков разрушения; р) значительный износ и сильная внутренняя коррозия.

Преждевременный износ канатов и их повреждение могут возникнуть в результате неправильного выбора конструкции каната, типа и направления скручивания, неправильной намотки на барабан, неправильного выбора соотношения диаметров каната и барабана или блока, профиля и размера ручья блока и канавок барабана, перегрузки, чрезмерные динамические воздействия на канат. Кроме того, на износ каната влияют следующие факторы [21,24]:

- многослойное наматывание каната на барабан может привести к сильной деформации под нижележащими слоями каната;
- плохая намотка может привести к механическим повреждениям в виде сильного сдавливания и даже вызвать ударную нагрузку во время работы;
- шкивы слишком малого диаметра могут вызвать постоянную деформацию и преждевременный разрыв проволоки из-за усталости;
- большие желоба обеспечивают недостаточную опору для каната, что приводит к увеличению местного давления, уплощению каната и преждевременным обрывам проволоки. Желоба считаются слишком большими, если его диаметр превышает номинальный диаметр каната на 15% для стали и на 20% для полиуретановой облицовки;
- узкие канавки в шкивах разрушают и деформируют канат, что проявляется в износе проволок;
- большой угол отклонения может привести к сильному износу каната из-за соприкосновения соседних витков на барабане.

На характеристики каната, с его правильным выбором и применением, влияют два определенных фактора: коррозия и механический износ. В зависимости от условий эксплуатации тот или иной фактор является решающим для снятия каната с эксплуатации [20].

Продолжительность безопасной эксплуатации подъемного оборудования, подъемных устройств и других систем, в которых работают стальные канаты, во многом зависит от хорошо спланированной периодической проверки каната и оценки его пригодности для дальнейшего использования.

Осмотр и отбраковка канатов должны соответствовать требованиям, изложенным в инструкции по эксплуатации производителя оборудования [25].

Особое внимание уделяют тем участкам каната, которые, согласно опыту эксплуатации, наиболее подвержены разрушению. Чрезмерный износ, деформация и коррозия (рисунок 1.3) являются наиболее распространенными визуальными признаками разрушения [20].

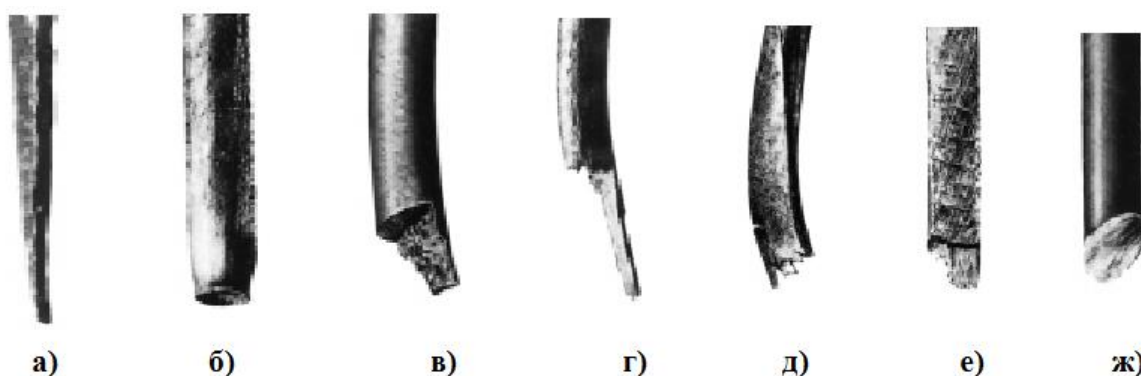


Рисунок 1.3 - Порывы проволок

а) порыв, вызванный сильным износом; б) порыв при растяжении; в) усталостный порыв; г) порыв, вызванный коррозионной усталостью; д) порыв, вызванный вязким износом; е) мартенситный порыв; ж) сдвиговый порыв.

Любые стальные канаты, скрученные вместе, растягиваются при растягивающей нагрузке в три этапа в зависимости от величины приложенной нагрузки.

В начале загрузки нового каната создается удлинение в связи с прикатыванием витых проволок с соответствующим уменьшением общего диаметра. Уменьшение диаметра вызывает чрезмерную длину проволоки и сопровождается расширением спиральной прокладки. Когда на соседних проволоках создаются достаточно большие опорные поверхности, чтобы выдерживать круговые сжимающие нагрузки, эти удлинения прекращаются и начинается упругое удлинение. Начальное удлинение любого каната не может быть точно определено расчетами [21].

### **1.3. Обзор и анализ систем контроля натяжения стальных канатов**

Для определения натяжения каната используются различные методы и средства. Самыми распространенными на данный момент считаются датчики разных моделей, а также устройства для защиты от напуска каната. В начале 60-х годов для измерения натяжений в канатах был создан прибор (разработка МакНИИ), основанный на измерении частоты поперечных колебаний каната ограниченной длины, которая непосредственно связана с натяжением. Однако из-за сильно выраженного дисперсионного характера таких колебаний идентификация численных значений усилий приводила к неоднозначным результатам, из-за чего прибор не нашел практического применения.

Для контроля натяжения канатов проходческих лебедок используются ограничители натяжения канатов ОНК-1М.У1. В приборе ОНК-1М.У1 осуществляется преобразование усилия натяжения канатов в пропорциональный электрический сигнал, и индикация этого усилия выносятся на пульт управления. Для преобразования величины натяжения каната в пропорциональное ему и меньшее по величине измеряемое усилие использована плавно регулируемая рычажно-роликовая система, состоящая из трех роликов, между которыми контролируемый канат располагается с небольшим перегибом на среднем ролике, и двух кулис, передающих усилие с роликов на датчик и установленных на корпусе преобразователя, а также плавно перемещаемой каретки с закрепленным на ней средним роликом. Для преобразования механических усилий в электрический сигнал применен тензорезисторный силоизмерительный датчик. Сигнал с датчика преобразовывается в напряжение постоянного тока величиной до 6 В усилителем, установленным в корпусе датчика. Если усиленный сигнал с датчика больше напряжения, заданного переключателем "МАЛО", и меньше напряжения, заданного переключателем "МНОГО", то подъем работает нормально. Если сигнал выходит за пределы указанного диапазона, то подъемная установка останавливается [15, 26]. Недостатком данного ограничителя является необходимость перегиба каната, а также использование

рычажно-роликовой системы, постоянство точности работы которой при действии продолжительных динамических нагрузок при движении каната обеспечить достаточно сложно. Также к недостаткам можно отнести:

- ограниченные диапазоны диаметров контролируемых канатов и пределов контролируемых нагрузок;
- невысокую точность установления предела перенапряжения (погрешность составляет 10% от номинальной нагрузки ограничителя);
- относительно быстрый механический износ рычажно-роликовой системы.

С более широким набором технических средств представлен «Весовой» метод контроля зависания подъемного сосуда, который базируется на измерении концевой нагрузки на головной канат в момент зависания, что обуславливает ослабление натяжения вертикальной ветви подъемного каната.

Контроль уменьшения концевой нагрузки на головной канат может быть реализован на копре (с использованием систем АНК, АЗСП, устройств типа «отклоняющий ролик», магнитоупругих датчиков и др.), в непосредственной близости от сосуда, под прицепным устройством (АПИК-2, «Сигнал-16», АЗНК и др.). При этом следует отметить, что, несмотря на высокую надежность контроля ослабления натяжения каната в неподвижном состоянии, размещение устройства в непосредственной близости от сосуда требует организации специализированного канала связи для передачи диагностической информации с движущегося сосуда на пульт управления подъемной машиной.

Известные разработки аппаратуры контроля напуска каната, выполненные в виде опытно-экспериментальных образцов и проходившие испытания на шахтах, распространения не получили. Сложная технология, ограниченный ресурс и высокая трудоемкость изготовления и размещения на копровых элементах оборудования шахтного подъема устройств контроля зависания сосуда (АЗСП) не привели к их практическому применению [27]. Основными недостатками контролирующих устройств, располагаемых у прицепного устройства (АЗНК, «Сигнал», АПИК и др.), являются ложные

срабатывания от вертикальных пульсаций нагрузки при динамических режимах работы подъемной установки, а также низкая помехозащищенность радиоканала передачи информации с движущегося сосуда на пульт управления подъемной машиной. Это затрудняет их использование в схемах защиты [28].

Для идентификации зависания сосуда в шахтном стволе применялся метод, основанный на сопоставлении линейных перемещений навивочной поверхности барабана подъемной машины и фактического перемещения подъемного сосуда, использовался в СССР и за рубежом. В отечественной горной промышленности были разработаны и практически реализованы устройства для непосредственной возникновения напуска каната в стволе, такие как – АЗН и «Радуга». Принцип их действия основана на считывании магнитных меток, размещенных на специально проложенном в стволе маркерном канате. Однако данные системы продемонстрировали ряд существенных недостатков, препятствующих их промышленному внедрению: сложность технического обслуживания маркерного каната, низкая надежность узла считывания магнитных меток вследствие их взаимного влияния и проблемы с передачей аварийного сигнала в цепь торможения подъемной машины. Совокупность перечисленных факторов стала основной причиной отказа от промышленного использования указанных систем [29].

Специфика скиповых подъемных установок заключается в перемещении подъемного сосуда в зоне разгрузочных устройств. Подъемные установки оснащаются прицепными клиновидными устройствами с зацеплением каната на прямолинейном участке (рычажно-клиновые коуши Донгипроуглемаша), на смену которым приходят клиновые безжимковые коуши с одно- или двухсторонним зажатием каната. В соответствии с требованиями Правил безопасности прочность прицепных устройств и подвески обеспечивается путем нормирования запаса прочности, ограничением срока службы и контроля соответствия допустимой и фактической нагрузки. Проводимая периодическая ревизия и наладка механической части подъема имеют целью проверку соответствия ограничительным требованиям. Кроме того, при оценке

надежности работы прицепных устройств проводится визуальный контроль с целью выявления признаков проскальзывания каната в коуше, а подвесные устройства при необходимости продления срока службы сверх ограничения (5 лет) подвергаются дефектоскопии [29, 30]. Наиболее уязвимым местом в системе подвески подъемного сосуда является участок каната, введенного в прицепное устройство. Данный участок каната подвергается статическим и динамическим продольным растягивающим и поперечным сжимающим нагрузкам, коррозионным воздействиям и не может без разборки прицепного устройства контролироваться визуально, а инструментальных средств для этого в настоящее время не разработано. Некоторое снижение вероятности возникновения аварии в этой зоне прицепного устройства обеспечивается заменой проработавшего участка каната на новый при перепанцировке, проводимой через каждые 6 месяцев при отрезке каната для испытаний [29].

Выполнение защитных функций в клетевых подъемах обусловлено обязательным требованием к собственной надежности и заданной работоспособности парашютных систем. Оценка технического состояния шарнирно-рычажной системы шахтных парашютов, приводимых в действие пружиной, производится при остановленном подъеме регламентами визуальных проверок технического состояния узлов и деталей с измерением контролируемых размеров. В эксплуатационном режиме состояние элементов парашютных систем не контролируется. При этом существуют принципиальные разработки для мониторинга некоторых элементов, в частности, для пружины парашюта. Таким образом, состояние подвесных устройств шахтных подъемов проводится периодически с использованием визуальных и инструментальных методов, позволяющих определить явное повреждение или ультразвуковое сканирование остаточных явлений в элементах этих устройств как результат когда-то действующих нагрузок, неопределенных ни по величине, ни по частоте, ни по продолжительности [29].

Стальные проволочные канаты, используемые в качестве несущих элементов на подъемных устройствах, представляют собой сложные гибкие

конструкции, воспринимающие совокупные воздействия растягивающих динамических усилий изгибающих нагрузок, крутящего момента (вследствие спирального расположения проволок и прядей в канате), коррозионного разрушения. Механическая прочность и эксплуатационная надежность работы подъемных канатов обеспечивается заданием запаса прочности, ограничения срока эксплуатации и периодическими визуальными или инструментальными проверками [29].

В рамках обеспечения эксплуатационной надежности стальных проволочных канатов, используемых в подъемных установках, регламентируется контроль следующих технических параметров:

- образование «жучков»;
- выпучивание или западание прядей;
- обрывы наружных проволок и прядей (определяются визуально или с применением «рукавицы»);
- утончение, по сравнению с первоначальным диаметром;
- потеря сечения металла проволок из-за абразивного или коррозионного износа (с помощью различных магнитных и электромагнитных дефектоскопов серий ИИСК, ДСК и др.);
- удлинение каната после воздействия экстренных нагрузок (ручным замером);
- соответствие требованиям действующих ГОСТов проволок испытываемых канатов на разрывы и перегиб (проводятся на специальном оборудовании с отрубленным отрезком рабочего каната) [29].

Визуальный контроль состояния каната осуществляется ежедневно, а инструментальные методы с применением измерительных средств и приборов типа ИИСК-6, ИИСК-7, ДСК-4 - ежемесячно. Визуальный и измерительный контроль состояния каната проводится в специальном режиме работы подъемной машины при скорости движения не более 0,3 м/с. Инструментальные средства, в соответствии с их возможностями, применяются в режиме ревизии подъемной машины в том же диапазоне скорости работы



подъемной машины, что обуславливает существенные затраты времени на проведение этих мероприятий. Не углубляясь в рассмотрение принципиальных и конструктивных особенностей магнито-индукционных устройств типа ИИСК, ДСК и др., следует констатировать, что, обеспечивая достаточно высокое качество контроля потери сечения металла проволок, они не могут надежно выявлять нарушение и порывы проволок внутри каната и обращать внимание на потенциально опасные участки каната, накопившие усталостные напряжения (от коррозии), которые могут вызвать разрушение проволок.

Надежность работы каната и целостность его элементов определяются величиной нагрузок, частотой и продолжительностью их действия. Подъемный канат подвергается:

- осевому растяжению, вызываемому концевой нагрузкой и собственным весом каната;
- крутящему моменту из-за спирального расположения проволок и прядей (величина момента зависит от нагрузки на канат под подвесным устройством, собственной массы каната и изгибных напряжений, возникших в процессе изготовления каната);
- изгибающим нагрузкам при огибании канатом копрового шкива и намотки на барабан подъемной машины.

Определение фактических значений осевых нагрузок, изгибных напряжений, крутящих моментов в канате, работающем в нормальном цикле подъема - проблема, которая до настоящего времени полностью не решена.

Изгибные нагрузки на канат, обеспечивающие прочностные характеристики и надежность его работы в меж-контрольный период, ограничиваются заданием минимального диаметра огибаемой поверхности шкива и барабана подъемной машины. Интенсивность и частота изгибных нагрузок на канат в процессе его эксплуатации не контролируются.

Крутящий момент, возникающий в канате вследствие вышеуказанных причин, в нормальном режиме подъема не оценивается. Крутящий момент в канате проявляется в виде повышенного износа роликовых направляющих и

проводников. На бадьевых подъемах крутящий момент каната снимается применением вертлюгов. На клетевых и скиповых подъемах снижение крутящего момента в канате производится при перепанцировке или расцепкой прицепного устройства с подвесной конструкцией сосуда.

Наиболее значимым силовым воздействием на подъемный канат являются осевые статические и динамические нагрузки. Эти нагрузки существенно обуславливают также величину и характер изменения крутящего момента, и изгибные усилия в канате.

Величина осевой статической нагрузки на канат определяется как сумма веса сосуда с подвесным устройством, веса максимального груза, веса самого каната от точки схода его со шкива до прицепного устройства сосуда, находящегося на самом нижнем горизонте, и ограничивается установленным запасом прочности каната. Контроль усилия натяжения каната в нормальном цикле работы подъема в отечественной практике, как правило, не производится. В зарубежной практике контроль натяжения канатов осуществляется специальными механическими динамометрами (ФРГ) [31] или тензометрическими устройствами (Англия, Бельгия, Франция, США), а также косвенным методом по времени прохождения каната поперечной волны (Швеция, Польша, Чехия и др.). Следует указать, что последний способ применяется в отечественной практике на многоканатном подъеме при положении сосуда в нижней крайней точке ствола в неподвижном состоянии. Для инструментального контроля натяжения канатов применяют стационарные или съемные динамометры, измерители натяжения канатов. В качестве средств контроля статического нагружения подъемного каната можно использовать датчики усилий устройств контроля зависания сосуда, реализующие «весовой» метод измерения (аппаратура «Сигнал», АПИК, АЗНК и др.). Однако их реализация направлена на выявление недопустимого ослабления подъемного каната, а не на выявление текущих значений действующих в канате усилий. Таким образом, величина и характер изменения статической нагрузки в канате при работе подъемной машины, которые являются важными

информационными данными, позволяющими оценить качество работы подъема, вносить коррективы в режим его работы и прогнозировать состояние подъемного каната, остаются без должного внимания.

Динамические нагрузки в подъемном канате, действующие практически во всех режимах работы подъемной установки, в перечень контролируемых параметров по существующим Правилам безопасности не входят, и средства для их измерения промышленностью не выпускаются. Применительно к механическим элементам подъемной установки такой показатель, как «динамические нагрузки», используется только для задания запаса прочности тормозных канатов парашютов. Предельные значения динамических нагрузок обеспечиваются ограничением скорости и ускорений движения сосуда.

Современные подъемные машины для вертикальных стволов оснащены шарнирно-рычажными тормозными системами с колодочными исполнительными органами и быстродействующими пружинно-пневматическими, пружинно-гидравлическими и грузо-гидравлическими приводами тормоза. Оценка состояния механических элементов тормозов подъемной машины (куда входят горизонтальные, вертикальные и грузовые тяги, тормозные стойки, балки, дифференциальные рычаги, траверсы, шарнирные соединения, тормозные колодки и др.), производится в соответствии с Правилами безопасности периодически, с использованием визуального, ультразвукового, магнитопорошкового и электромагнитного методов (в период наладки и ревизии подъема).

К регулярно контролируемому механическому элементу тормозной системы подъемной установки следует отнести фрикционные накладки, предельная величина износа которых может контролироваться устройствами ВИК, ЭВД-1.

При визуальном осмотре рычажно-шарнирного механизма выявляются сильно выраженные дефекты: сколы, глубокие вмятины, крупные трещины и др., а также оценивается величина зазоров в шарнирных соединениях.

Величину зазора шарнирных соединений определяют путем индикации при взаимном перемещении соединяемых деталей или разборкой шарнира и их обмером. Состояние приводных пружин рабочего и предохранительного тормоза оценивается также визуально, хотя их целостность может контролироваться устройством [32], применяемым для контроля работы приводной пружины парашюта. В связи с невысокой надежностью визуального метода выявление скрытых дефектов механических элементов тормозной системы производится инструментальным путем.

#### **1.4. Обзор и анализ требований безопасной эксплуатации шахтных подъемных установок в Кыргызской Республике**

При эксплуатации шахтной подъемной установки безопасность является наиважнейшим конструктивным критерием. Под безопасностью понимается как безопасность работников - пассажиров, груза, так и обслуживающего персонала. Рассматривая условия функционирования ШПУ как повышено опасные, логично всегда делать выбор в пользу самой безопасной установки для данных условий. И лишь после правильного выбора рекомендуется далее проектировать детали конструкции лифта.

Основными нормативными документами регламентирующие безопасность работ подъемных установок в Кыргызской Республике являются Технический регламент «О безопасности машин и оборудования» ТР ТС 010/2011 от 18.10.2011 г № 823, Технический регламент «Безопасность лифтов» ТР ТС 011/2011 от 18.10.2011 г. № 824 и «Правила безопасности производственных процессов строительства и эксплуатации подземных объектов, не связанных с добычей полезных ископаемых , а также объектов добычи полезных ископаемых подземным способом» (далее ПБ), утвержденное приказом ГКПЭиН Кыргызской Республики № 01-7/171 от 11.04.2018г. (В редакции приказа Министерства природных ресурсов, экологии и технического надзора КР от 21 января 2025 года № 01-01/14)

На основании действующих ПБ, объектами технического контроля и

обслуживания в вертикальных шахтных стволах являются следующие конструктивные элементы и системы: крепь ствола, элементы армировки (жесткой: проводники, расстрелы, узлы крепления, и гибкой: канатные проводники, отбойные канаты, прицепные устройства, натяжные устройства) а также, жесткие проводники и фиксирующие устройства на приемных площадках и промежуточных горизонтах) [33].

Система контроля состояния вертикального ствола включает предполагает регулярное выполнение комплекса мероприятий по техническому освидетельствованию его конструктивных элементов. Периодичность и содержание контроля проводится следующим образом:

- ежесуточный контроль, осуществляется визуальный осмотр состояния крепи и армировки с подъемных сосудов в процессе его движения;
- еженедельный контроль, осуществляется детальный визуальный осмотр гибкой армировки по всей их рабочей длине для выявления повреждений и деформаций;
- ежемесячный контроль, осуществляется проверка герметичности тубинговой колонны для своевременного обнаружения и устранения водопритокров, нарушающих целостность и устойчивость крепи;
- ежеквартальный контроль, осуществляется техническое освидетельствование состояния болтовых соединений и пикотажных швов тубинговой крепи для оценки их целостности и прочности [33].

Шахтные подъемные установки подлежат обязательному оснащению следующими защитными и блокировочными устройствами, обеспечивающих безопасную эксплуатацию:

- максимальная и нулевая защита, обеспечивает отключение установки при перегрузке электродвигателя или в случае отсутствия напряжения в питающей сети;
- защита от провисания и напуска каната, предотвращает провисания подъемного каната (струны) и его напуска в стволе. Данное требование, как

правило, не распространяется на бадьевые подъемные установки;

- блокировка предохранительных решеток, включает сигнал «Стоп» на пульте машиниста в случае, если решетки на приемных площадках ствола остаются открытыми. Она также исключает возможность открытия решеток при отсутствии клетки на соответствующем горизонте. Исключение составляют установки с дверьми гильотинного типа;

- блокировка реверсивного движения, обеспечивает возможность включения двигателя после возникновения переподъема сосуда (клетки, скипа) только в направлении, необходимом для ликвидации данного переподъема;

- электрические блокировки, включают дуговую блокировку между контакторами реверсора и блокировку, контролирующую режим динамического торможения;

- блокировка тормозной системы, предотвращает снятие предохранительного тормоза при условии, что рукоятка рабочего тормоза не находится в положении «заторможено», а рукоятка аппарата управления (контроллера) не установлена в нулевое положение;

- блокировка, обеспечивает остановку бадьи за 5 м до подхода ее к рабочему полку во время возведения крепи и при подходе к забою ствола;

- защита от зависания сосудов в разгрузочных кривых;

- блокировка от скольжения канатов;

- блокировка, обеспечивает при проходке и углубке ствола остановку бадьи за 10 м до подхода ее к закрытой ляде [33];

- устройство, подает сигнал стволловому или машинисту при выдергивании тормозных канатов в месте их крепления в зумпфе;

- устройство, подает сигнал машинисту при недопустимом поднятии петли уравновешивающего каната;

- блокировка от чрезмерного износа тормозных колодок, срабатывает при увеличении зазора между ободом барабана и тормозной колодкой более чем на 2 мм. Это требование не распространяется на грузовые подъемные и

проходческие лебедки;

- устройство, сигнализирующий машинисту о положении качающихся площадок и посадочных кулаков;

- автоматический звонок, сигнализирующий о начале периода замедления [32].

Для грузо-людских и людских подъемных установок, эксплуатируемых на вертикальных и крутонаклонных стволах (с углом наклона более  $60^\circ$ ) устанавливается требование однослойной навивки подъемного каната на барабане.

Допускается:

- двухслойная навивка каната на барабан: грузовые вертикальные подъемные установки на поверхности; установки для спуска и подъема людей по наклонным выработкам с углом наклона от  $30^\circ$  до  $60^\circ$ ; подъемные установки на вертикальных стволах глубиной свыше 900 м, при условии, что скорость подъема не превышает 8 м/с;

- трехслойная навивка: установки для спуска и подъема людей по наклонным выработкам с углом наклона до  $30^\circ$ ; установки, используемые при проходке вертикальных и наклонных выработок; грузовые подземные вертикальные и наклонные подъемные установки; грузовые наклонные откаточные установки на поверхности;

- многослойная навивка: аварийно-ремонтные и вспомогательные грузовые подъемные установки (включая подъем грузов на эстакады, породные отвалы, а также спуск/подъем грузов и вспомогательных материалов по участковым вертикальным и наклонным выработкам, где выполняется не более 10 циклов в смену); проходческие лебедки (при скорости не выше 0,4 м/с); лебедки для спасательных лестниц (при скорости не выше 0,35 м/с) [33].

Все шахтные подъемные установки должны подлежат оснащению регистрирующими устройствами, предназначенными для фиксации основных параметров режимов работы подъемной машины [33].

Для предотвращения ослабления натяжения каната в месте его прикрепления на барабанах устанавливаются следующие требования к минимальному количеству витков трения [33]:

- не менее трех витков трения — на барабанах, футерованных деревом, прессмассой или иными материалами, согласованными с заводом-изготовителем ШПУ;

- не менее пяти витков трения — на барабанах без футеровки.

Проходческие лебедки, используемые для навески полков, опалубки, направляющих канатов, а также лебедки для наращивания технологических трубопроводов, монтажа тубингов и элементов армировки должны быть оборудованы специализированными устройствами контроля натяжения канатов [33].

Каждая подъемная установка должна быть снабжена устройством для подачи сигнала по цепи «стволового к рукоятчику» и «рукоятчика к машинисту», кроме этого, предусматривается ремонтная сигнализация, необходимая при осмотре и ремонте ствола, подъемных сосудов и элементов копрового станка. В стволах глубиной более 500 м для обеспечения ремонтной сигнализации следует применять средства беспроводной связи [33].

При проходке и углубке стволов должна быть оборудована прямая двухсторонняя телефонная связь или громкоговорящая связь между поверхностью и рабочим полком [33].

Конструкции стальных канатов должны быть выбраны в строгом соответствии с требованиями, регламентирующими их эксплуатацию на различных подъемно – транспортных установках.

Подъемные и тяговые канаты людских и грузо-людских подъемно-транспортных установок должны соответствовать грузо-людским маркам ВК и В, остальные - не ниже марки I [33,34].

Канаты для сосудов и противовесов шахтных подъемных установок должны иметь при навеске минимальный запас прочности, рассчитанный по



следующим коэффициентам:

- 10-кратный - стропы многократного использования при опускании негабаритных и длинномерных грузов под подъемным сосудом, сигнальные тросы грузо-людских и людских подъемных установок.
- 9-кратный - людские и аварийно-ремонтные подъемные установки; двухканатные людские и грузо-людские установки со шкивами трения (при расчете по людям), не оборудованные парашютами;
- 8-кратный - одноканатные (людские, грузо-людские и грузовые) и многоканатные людские и грузо-людские подъемные установки со шкивами трения;
- 7,5-кратный - грузо-людские подъемные установки; канаты для подвески механических грузчиков (грейферов) и проходческих люлек в стволе;
- 7-кратный - грузовые многоканатные подъемные установки;
- 6,5-кратный - грузовые подъемные установки;
- 6-кратный - передвижные аварийные подъемные установки, спасательные лестницы, канатные проводники эксплуатируемых шахт, канаты для подвески полков при проходке стволов глубиной до 600 м, насосов, труб водоотлива и проходческих агрегатов;
- 5,5-кратный - резинотросовые уравнивающие канаты, а также канаты для подвески полков при проходке стволов глубиной от 600 до 1500 м;
- 5-кратный - отбойные канаты, канатные проводники проходческих подъемных установок, подвески проходческого оборудования, в том числе стволопроходческие комбайны в стволах глубиной более 900 м, подвески полков при проходке стволов глубиной от 1500 до 2000 м, подъемные канаты, не имеющих оборванных проволок и потери сечения металла более 7%, а также новые стропы при разовом спуске под подъемным сосудом или на прицепном устройстве отдельного каната крупногабаритных грузов и при навеске (замене) подъемных сосудов на многоканатных подъемных установках;
- 3-кратный - от динамической нагрузки для тормозных и амортизационных

канатов парашютов;

Для подъемных канатов, используемых в вертикальных стволах при максимальной длине отвеса более 600 м, устанавливается особый минимальный запас прочности, рассчитываемый как отношение суммарного разрывного усилия всех проволок каната к концевому грузу (без учета массы подъемного каната):

- 13-кратный - для людских подъемных установок;
- 11,5-кратный - для подъемных установок со шкивами трения, одноканатных (людских, грузо-людских и грузовых) и многоканатных (людских и грузо-людских) установок, кроме двухканатных подъемов, не оборудованных парашютами;
- 10-кратный - для грузо-людских подъемных установок;
- 9,5-кратный - для многоканатных грузовых подъемных установок;
- 8,5-кратный - для грузовых подъемных установок.

Общий минимальный запас прочности с учетом массы каната :

- 5-кратный - для людских и грузо-людских подъемных установок;
- 4,5-кратный - для грузовых подъемов.

Запрещается применение канатов одинарной свивки из круглых проволок для навески проходческого оборудования, а также закрытых подъемных канатов в качестве проводников бадьевого подъема [33,34].

На одноканатных подъемных установках с канатными проводниками для обоих подъемных сосудов должны навешиваться головные канаты одного диаметра, конструкции и направления свивки.

На каждом многоканатном подъеме должно быть не менее двух уравновешивающих канатов.

Тяговые канаты дорог вспомогательного транспорта шахт должны иметь при навеске запас прочности не ниже:

- 6-кратного - для подземных пассажирских канатных дорог, монорельсовых и напочвенных рельсовых дорог при расчете по людям;

- 5-кратного - для монорельсовых и напочвенных рельсовых дорог при расчете по грузу, вспомогательных лебедок в наклонных выработках;
- 4-кратного - для скреперных, маневровых и вспомогательных (по горизонтальным выработкам) лебедок.

Запас прочности натяжных канатов подземных пассажирских подвесных канатных дорог должен быть не ниже 6-кратного.

Канаты рабочие (тяговые) для перемещения забойного оборудования должны иметь запас прочности не менее 3-кратного по отношению к номинальному тяговому усилию на их рабочих барабанах.

Предохранительные канаты забойных машин должны иметь запас прочности не менее 6-кратного по отношению к массе выемочной машины с учетом угла падения пласта [33,34].

Шахтные канаты перед навеской и в процессе эксплуатации должны испытываться на канатно-испытательных станциях.

Резервный испытанный канат перед навеской вторично не испытывается, если срок хранения его не превышает 12 месяцев [33,35].

Перед навеской должны испытываться канаты, предназначенные для применения на вертикальных и наклонных подъемных установках (за исключением канатов грузовых подъемов с углом наклона выработки, менее 50°), канаты для подвески полков, спасательных лестниц и проходческих люлек, тяговые и натяжные канаты подземных пассажирских канатных дорог, тяговые канаты монорельсовых и напочвенных дорог.

Канаты подъемных установок и проходческие, испытанные перед навеской, за исключением канатов в установках с одноканатными и многоканатными шкивами трения, канатов для подвески полков должны испытываться повторно в следующие сроки:

- через каждые 6 месяцев на людских и грузо-людских подъемных установках, а также для проходческих люлек;
- через 12 месяцев после навески и затем через каждые шесть месяцев на

грузовых, аварийно-ремонтных и передвижных подъемных установках, а также для спасательных лестниц;

- через шесть месяцев после навески, а затем через каждые три месяца подъемные многопрядные неоцинкованные малокрутящиеся канаты (грузовые и грузо-людские);

- через 18 месяцев после навески, а затем через каждые шесть месяцев канаты вертикальных подъемов и наклонных людских, грузо-людских подъемов (с углом наклона свыше  $60^\circ$ ), проверяемые канатными дефектоскопами [33].

Срок повторных испытаний канатов исчисляется с момента их навески.

Канаты, используемые для подвески спасательных лестниц и проходческих люлек, повторно не испытываются, если осуществляют им инструментальный контроль [33].

Повторно через каждые шесть месяцев должны испытываться только тяговые канаты монорельсовых и напочвенных дорог.

Канат при повторном испытании должен быть снят и заменен другим, если суммарная площадь поперечного сечения проволок, не выдержавших испытания на разрыв и перегиб, достигает 25% общей площади поперечного сечения всех проволок каната [33,35].

Запрещается навешивать или продолжать работу стальными канатами с порванными, выпученными или запавшими прядями, с узлами, «жучками» и другими повреждениями.

Применение счаленных канатов допускается только для откатки грузов по горизонтальным выработкам, наклонным выработкам с углом наклона до  $30^\circ$ , а также на подземных пассажирских подвесных канатных, монорельсовых и напочвенных дорогах. При проходке стволов в случае применения для подвесного оборудования канатов длиной более 1000 м допускается соединение их спаренными коушами с установкой на каждой ветви каната жимков.

Запрещается эксплуатация стальных прядевых канатов шахтных

подъемных установок при наличии на каком-либо участке обрывов проволок, число которых на шаге свивки от общего их числа в канате достигает при визуальном (инструментальном) контроле:

- 5% - для подъемных канатов сосудов и противовесов, канатов для подвески полков и механических грузчиков (грейферов);
- 10% - для канатов грузовых концевых откаток по наклонным выработкам с углом наклона до  $30^\circ$ , уравнивающих, тормозных, амортизационных, проводниковых, отбойных канатов [33].

Если поврежденный участок находится в месте крепления каната к прицепному устройству, то разрешается конец каната с оборванными проволоками отрубить и снова прикрепить канат к коушу. В журнале записи результатов осмотра подъемных канатов и их расхода должен быть отмечен наиболее поврежденный участок (шаг), на котором число оборванных проволок превышает 2% общего числа проволок каната.

Запрещается эксплуатация подъемных канатов закрытой конструкции:

- при износе более половины высоты проволок наружного слоя;
- при нарушении замка наружных проволок фасонного профиля (расслоение проволок), если шероховатость поверхности каната возникла за счет разворота вокруг продольной оси не менее чем половины наружных проволок или хотя бы одна Z-образная проволока в результате выхода из замка оказалась вне наружной поверхности каната;
- при наличии трех оборванных проволок (включая и запаянные) фасонного профиля наружного слоя на длине участка, равной пяти шагам их свивки или двенадцати на всей рабочей длине каната[33].

Допускается эксплуатация канатов, имеющих волнообразные участки без нарушения замка наружных проволок и сохраняющих гладкую поверхность. Проводниковые канаты подлежат замене:

- при износе на 15% номинального диаметра, но не более половины высоты или диаметра наружных проволок;

- если на 100 м длины каната закрытой конструкции обнаружено два обрыва наружных проволок.

Если при обрыве наружные проволоки в канате закрытой конструкции выходят из замка, то их необходимо надежно заделать в канат или вымотать на участке, не поддающемся заделке [33].

Запрещается эксплуатация стальных прядевых канатов вспомогательного транспорта при наличии на каком-либо участке обрывов проволок, число которых на шаге свивки от общего их числа в канате достигает:

- 5% - для канатов подземных пассажирских подвесных канатных, монорельсовых и напочвенных дорог;

- 15% - для канатов грузовых лебедок в наклонных выработках;

- 25% - для канатов бесконечных откаток по наклонным выработкам, канатов скреперных, маневровых и вспомогательных (по горизонтальным выработкам) лебедок.

Канаты для перемещения и удержания забойного оборудования должны проверяться ежесменно перед началом работы. Еженедельно производится проверка этих канатов инженерно-техническим работником участка. При этом определяется максимальное число обрывов на шаге свивки.

Канаты должны быть заменены, если на шаге свивки число обрывов проволок достигает 10% общего их числа.

Подъемные прядевые канаты, эксплуатирующийся в вертикальных стволах и на наклонных выработках, на людских и грузо-людских подъемах, подлежат обязательному инструментальному контролю в целях определения по всей их длине потери сечения металла и наличия обрывов проволок средствами контроля, допущенными в установленном порядке. Для каждого типа канатов, подвергаемых инструментальному контролю на подъемной установке в течение всего срока службы, должен храниться контрольный отрезок каната.

Канаты должны быть сняты и заменены новыми при потере сечения металла, достигающей:

1) 10% - для подъемных канатов в вертикальных стволах с длиной отвеса более 900м, с учетом отношения суммарного разрывного усилия всех проволок к концевому грузу, для подъемных канатов людских и грузо-людских двухканатных установок, не оборудованных парашютами, полковых канатов, навешиваемых с запасом прочности менее 6-кратного при полиспастовой схеме подвески полков, а также для тормозных канатов парашютов;

2) 15% - для подъемных канатов с металлическим сердечником, трехграннопрядных, с круглыми, пластически обжатými прядями, а также для канатов всех конструкций в вертикальных стволах с длиной отвеса до 900 м, а также канатов подвески стволопроходческих комбайнов, навешиваемых с запасом прочности менее 6-кратного;

3) 18% - для круглопрядных канатов с органическим сердечником на вертикальных и наклонных людских и грузо-людских подъемах, а также диаметром 45 мм и менее на грузовых подъемах, навешиваемых с запасами прочности, а также для проводниковых канатов при строительстве и эксплуатации шахт и канатов для подвески проходческого оборудования;

4) 20% - для круглопрядных канатов диаметром более 45 мм с органическим сердечником на вертикальных грузовых подъемах, навешиваемых с запасом прочности не менее 6,5-кратного, для отбойных канатов и канатов для подвески полков, кроме указанных в подпункте 1 настоящего пункта;

- 24% - для уравнивающих канатов [33, 36].

## **ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 1**

1. Выявлено, что, несмотря на относительно низкую частоту аварий на шахтных подъемных установках, их потенциальные последствия включают тяжелый травматизм и смертность среди работников.

2. Установлено, что обрыв стальных тросов наиболее часто происходит не в зонах максимального механического напряжения как барабаны и шкивы, а на

скрытых участках. Определены основные факторы, способствующие этому: процессы старения металла, повреждение кристаллической структуры, развитие коррозии и накопление скрытых дефектов в проволоках стальных канатов.

3. Рассмотрены существующие системы контроля натяжения канатов и выявлены недостатки, где ключевым препятствием для повышения точности и надежности работы таких систем является необходимость перегиба троса в процессе контроля.

4. Выявлено, что безопасная эксплуатация ШПУ в Кыргызской Республике регулируется комплексным набором жестких нормативных требований, направленных на минимизацию рисков, связанных с повышенной опасностью подземной добычи, и требует строгого соблюдения правил технического контроля, оснащения защитными системами и нормирования запаса прочности канатов.



## **ГЛАВА 2. МЕТОДОЛОГИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ КОНТРОЛЯ НАТЯЖЕНИЯ НЕСУЩИХ КАНАТОВ**

### **2.1. Методы и средства контроля натяжения стальных канатов в процессе эксплуатации подъемных установок**

Контроль с применением приборов основан на получении информации в виде электрических, световых, звуковых и других сигналов о качестве проверяемых объектов при взаимодействии их с физическими полями (электрическими, магнитными, акустическими и др.).

Существующие средства неразрушающего контроля согласно ГОСТ 4.27 – 71 предназначены:

- для выявления дефектов типа нарушение сплошности материала изделия;
- для оценки физико-химических свойств материалов изделия;
- контроля их основных геометрических параметров и оценки структуры материалов.

В зависимости от принципов работы контрольных средств все известные методы неразрушающего контроля в соответствии с ГОСТ 18353 – 79 подразделяются на следующие (рисунок 2.1):

Методы акустических измерений находят широкое применение для контроля технологических параметров и физико-механических характеристик и состояний материалов.

Техника этих измерений достигла высокого уровня развития, дальнейшее совершенствование ее идет, в основном, не по пути создания принципиально новых методов, а по пути их модернизации с применением электронных устройств и более широкого внедрения в производственный процесс.

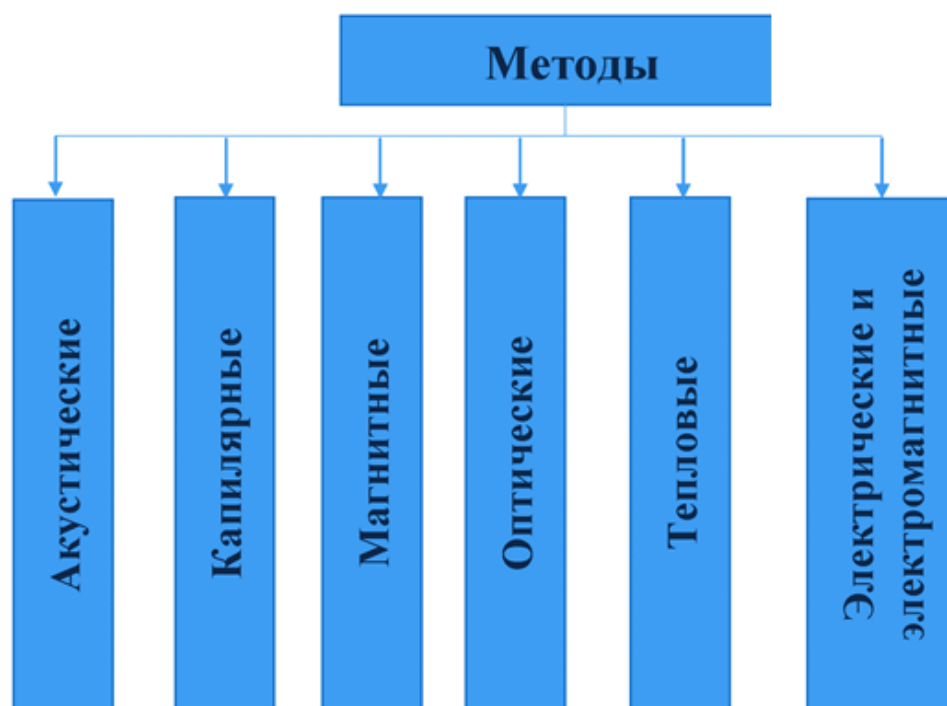


Рисунок 2.1 - Виды методов неразрушающего контроля

Методы акустической тензометрии условно разбиваются на три типа:

1. Измерение абсолютного значения параметра, по которому определяется контролируемый.
2. Измерение относительного изменения значения времени или скорости распространения.
3. Измерение разности (анизотропии) скоростей двух поляризованных колебаний с ортогональными плоскостями.

Первые два типа измерений реализуются одними и теми же устройствами. Эти методы являются универсальными и пригодны при измерениях с любыми типами волн, в то время как третий тип относится только к случаям применения сдвиговых волн [29, 37].

Акустические методы могут быть разделены на 2 основные группы [22]:

1. Основанные на излучении и приёме акустических волн;
2. Основанные на регистрации акустических волн, возникающих в материалах и изделиях.

К первой группе относятся методы контроля, основанные на излучении и приёме упругих волн:

- эхо-метод;
- теневой метод;
- зеркально-теневой метод;
- импедансный метод [22].

Ниже приведены некоторые приборы, предназначенные для ультразвуковой дефектоскопии, которые выпускает фирма АКС г. Москва (Российская Федерация).



Ультразвуковой толщиномер предназначен для измерения толщины стенок труб, котлов, сосудов, обшивок судов, литья, листового проката и других изделий из чёрных и цветных металлов с гладкими или грубыми и корродированными поверхностями с радиусом кривизны от 3 мм и шероховатостью до R160. Прибор позволяет контролировать изделия из металлов, покрытых краской, а также из пластмасс, стекла, керамики.



Ультразвуковой дефектоскоп широкого применения предназначен для поиска и определения координат различных нарушений сплошности и однородности материала в изделиях из металлов и пластмасс. Прибор рассчитан на контроль эхо-, эхо-зеркальным, зеркально-теневым и теневыми методами с использованием стандартных методик ультразвукового контроля и различных ультразвуковых преобразователей (прямых и наклонных, совмещённых и раздельно-совмещённых) отечественного и зарубежного производства с рабочими частотами от 1 до 10 МГц. Оперативная смена преобразователей и режимов контроля обеспечивается сохраняемой библиотекой настроек.



Низкочастотный ультразвуковой дефектоскоп предназначен для поиска инородных включений, пустот и трещин внутри изделий и конструкций из железобетона и камня при одностороннем доступе к объекту контроля. Его можно использовать для измерения толщины бетонных стен и

перекрытий, оценки толщины асфальтовых покрытий дорог, для исследований внутренней структуры и физико-механических свойств композитов и пластиков.



Ультразвуковой томограф предназначен для визуализации внутренней структуры изделий и конструкций из железобетона и камня при одностороннем доступе к ним с целью поиска инородных включений, пустот и трещин внутри этих материалов, а также определения состояния силовой арматуры в железобетоне.



Ультразвуковой тестер предназначен для измерений времени и скорости распространения продольных ультразвуковых волн в твёрдых материалах. Этот метод применяется при поверхностном обследовании объекта на фиксированной базе с целью определения прочности и целостности материалов и конструкций. Оценка прочности основана на корреляции скорости распространения ультразвуковых волн в материале с его физико-механическими характеристиками и физическим состоянием [37].

Ко второй группе методов контроля относятся:

- метод акустической эмиссии
- шумовибрационный метод

Метод акустической эмиссии основан на регистрации упругих волн, возникающих на ранней стадии образования трещин в конструктивных элементах [22].

Шумовибрационный метод применяют для оценки состояния различных узлов при эксплуатации машин и оборудования.

К недостаткам акустического метода диагностирования относятся: необходимость разработки специальных методик для отдельных типов деталей, необходимость сравнительно высокой частоты обработки поверхности контролируемых объектов и наличие мёртвых зон, снижающих эффективность контроля [22, 38].

Капиллярные методы неразрушающего контроля предназначены для обнаружения поверхностных дефектов изделий малых размеров (трещин, раковин, пор и т.д.), обладающих свойствами капиллярных трубок.

Капиллярные методы делятся на следующие виды:

- люминесцентный метод
- цветовой метод

Сущность люминесцентного метода состоит в том, что под воздействием внешнего облучения молекулы люминесцентного вещества получают избыточную энергию и переходят в возбуждённое состояние. Приобретённая избыточная энергия передаётся окружающим частицам вещества в виде теплоты и сопровождается излучением, которое называется люминесценцией. Процесс люминесценции можно наблюдать при облучении люминесцентного вещества видимым или ультрафиолетовым светом. При диагностировании люминесцентным методом подбирают вещества, дающими под воздействием ультрафиолетового излучения видимый свет. Необходимо, чтобы видимое свечение происходило в жёлто-зелёной области спектра, что соответствует максимальной чувствительности глаза [22].

Технологический процесс диагностирования люминесцентным методом состоит из следующих основных операций (рисунок 2.2):

Известен вид капиллярного метода диагностирования с помощью цветового метода. При этом методе диагностирования выявление дефектов производят с помощью ярко окрашенных проникающих жидкостей.

Технологический процесс диагностирования цветным методом мало чем отличается от люминесцентного и состоит из следующих операций:

- очистка детали, удаление масел, грязи, окалины, нагара и др.;
- нанесение проникающей жидкости;
- пропитки детали индикаторной жидкостью;
- удаление избыточной индикаторной жидкости с поверхности детали;

- нанесение на поверхность детали проявляющих материалов – белых красителей или адсорбирующего порошка.



Рисунок. 2.2 - Основные операции технологического процесса диагностирования люминесцентным методом

Индикаторная жидкость под воздействием проявителя выходит на поверхность детали и указывает место расположения дефектов[22].

К недостаткам капиллярного метода относят невозможность непрерывного контроля деталей в процессе работы машины, а также невозможность контроля в местах, где отсутствует прямой доступ к контролируемым деталям.

Магнитные методы диагностирования, в соответствии с ГОСТ 18353 – 79, классифицируют по способам регистрации магнитных полей рассеивания, возникающими над дефектами, или определения магнитных свойств контролируемого изделия [22, 29].

Одним из таких методов является магнитопорошковый метод. Магнитопорошковый метод основан на способности металлов намагничиваться

под воздействием магнитного поля. Источником магнитного поля при магнитопорошковом методе диагностирования служат постоянные магниты, электромагниты и проводники [22].

Ферромагнитное тело, однородное по магнитным свойствам, намагничивается в магнитном поле таким образом, что величина магнитной индукции в каждой точке сечения тела одинакова. В ферромагнитном теле, помещённом в магнитное поле, возникает магнитная индукция. Поскольку магнитная проницаемость ферромагнитного вещества значительно превышает магнитную проницаемость окружающего воздуха, то магнитная индукция внутри вещества будет выше магнитной индукции в воздухе [22,29].

При магнитопорошковом методе диагностирования создаётся магнитное поле рассеивания над дефектом. Это объясняется тем, что дефект, представляющий собой полость, заполненную воздухом или другим немагнитным веществом, создаёт резкое локальное сопротивление магнитному потоку, вследствие чего линии магнитной индукции частично вытесняются из сечения намагничиваемого изделия, огибают дефект и часть их проходит через воздух. Над ними и над краями дефекта возникают магнитные полосы, создающие магнитное поле рассеивания. Магнитный порошок, рассеянный в магнитном поле, притянется в местах выхода и входа магнитных линий рассеивания и зафиксирует наличие дефекта.

Технология магнитопорошкового метода диагностирования состоит из следующих основных операций: очистка поверхности изделия от окалины, нагара, масел и других загрязнений; намагничивание изделий; нанесение магнитного порошка на поверхность диагностируемого изделия; осмотр и оценка качества изделия [22].

Существует способ магнитопорошкового диагностирования, основанный на остаточной намагниченности в приложенном магнитном поле. Этот способ диагностирования осуществляется как постоянными магнитами, так и с

помощью устройств, питаемых электрическим током. Намагничивание изделий различают по следующим признакам [22]:

- по роду применяемого тока – намагничивание постоянным, переменным и импульсным токами
- по применяемым устройствам – намагничивание постоянными магнитами, электромагнитами, соленоидом, контактными штырями
- по характеру намагничивающего поля – циркуляционное, продольное, винтовое или комбинированное намагничивание

К недостаткам магнитопорошкового метода контроля относят невозможность надёжно контролировать дефекты, глубина залегания которых превышает 2 мм; при этом методе контроля напряжённость магнитного поля должна быть такой, чтобы диагностируемая деталь была намагничена до индукции, близкой к насыщению.

При контроле изделий методами вихревых токов используют зависимость траекторий, переходных характеристик и спектра частот токов, возбуждаемых в изделии, от его формы и размеров, амплитуды и физико-химических свойств, учитывают также и расстояние детали до датчика, частоты и скорости её перемещения, а также вибрации [22].

По виду зависимости сигнала датчика от времени различают четыре метода контроля вихревых токов:

- основной гармоник
- высших гармоник
- переходных характеристик (импульсный)
- многопараметровый

Для диагностирования изделий этим методом используют вихревые датчики. Сущность работы вихревых датчиков заключается в следующем: вихревые токи возбуждаются переменным магнитным потоком, датчик получает информацию о свойствах изделия через магнитный поток  $\Phi_e$ , созданный вихревыми токами с плотностью  $d$ , а векторы напряжённости



возбуждающего поля  $H_0$  и поля вихревых токов  $H_v$  направлены навстречу друг другу. Полученная ЭДС в обмотке датчика будет пропорциональна разности потоков  $\Phi_0 - \Phi_v$  [22,39].

Датчики вихревых токов различают по электрическим свойствам сигнала: параметрические и трансформаторные. В параметрических датчиках сигналом служит приращение комплексного сопротивления, а в трансформаторных датчиках сигналом служит приращение комплексного напряжения, возникающего в одной или нескольких измерительных обмотках. Датчики по способу расположения изделия относительно обмоток делятся на накладные, щелевые и проходные.

К недостаткам токовихревых методов контроля относят невозможность непрерывного контроля деталей, движущихся со скоростью более 1 м/с, а также намагниченность исследуемой детали.

Радиационные методы диагностирования изделий основаны на законе ослабления интенсивности излучения, проходящего через контролируемый объект при просвечивании. По способу регистрации радиационные методы подразделяются на следующие группы:

- радиографические
- радиоскопические
- радиометрические

Для контроля изделий в качестве источника излучения применяют рентгеновские аппараты (рентгеновские трубки), ускорители заряженных частиц (электронов) и радиоактивные изотопы.

К недостаткам радиационных методов контроля относятся наличие радиоактивного излучения вблизи контролируемой детали.

При оптическом контроле качества производственных процессов для увеличения остроты зрения и разрешающей способности человеческого глаза применяют оптические приборы. Это позволяет видеть мелкие объекты,

размеры которых находятся за пределами границ видимости невооружённым глазом, а также мелкие детали, невидимые невооруженным глазом [22].

По виду приёмника лучистой энергии различают следующие группы оптических приборов:

- визуальные
- детекторные
- комбинированные

У визуальных приборов приёмник – человеческий глаз. К визуальным приборам относятся обзорные приборы, эндоскопы, микроскопы, а также приборы для измерения линейных и угловых размеров. К детекторным относятся приборы, в которых приёмниками лучистой энергии служат различные детекторы: химические реагенты (фотоэмульсии), люминесцирующие вещества, электронные приборы. Комбинированные приборы пригодны для обзора объектов визуально и с помощью детектора. Визуально-оптические приборы, используемые при диагностировании деталей и конструкции, подразделяются по назначению на следующие группы:

1. приборы (лупы, микроскопы) для контроля мелких, но близко расположенных от глаза контролёра деталей в пределах расстояния наилучшего зрения (до 250 мм);
2. приборы (телескопические лупы, зрительные трубы, бинокли) для контроля удалённых предметов, т.е. расположенных далее 250 мм;
3. приборы – эндоскопы, бароскопы, перископические дефектоскопы [22].

На основании вышеизложенных методик можно предложить стенд для исследования как, возможность применения ультразвука для оценки состояния (натяжения, порывов проволок, коррозии и другие) стального каната в процессе его эксплуатации.

Стенд (рисунок 2.3) представляет собой основание на опорах которого закреплены отрезки стальных каната, причем один канат является эталонным  $K_1$ , а другой испытуемым  $K_2$ .

В качестве генератора используется стандартный генератор низкой частоты «ГУ», выход которого соединен с пьезокерамическими датчиками «Д<sub>1</sub>», установленными на торцах отрезков каната. Датчики «Д<sub>2</sub>» принимают сигнал от генератора «ГУ» преобразуется (усиливаются) и через двухлучевой осциллограф «О» регистрируется на цифровой фотоаппарат для последующего анализа результатов измерений [40].

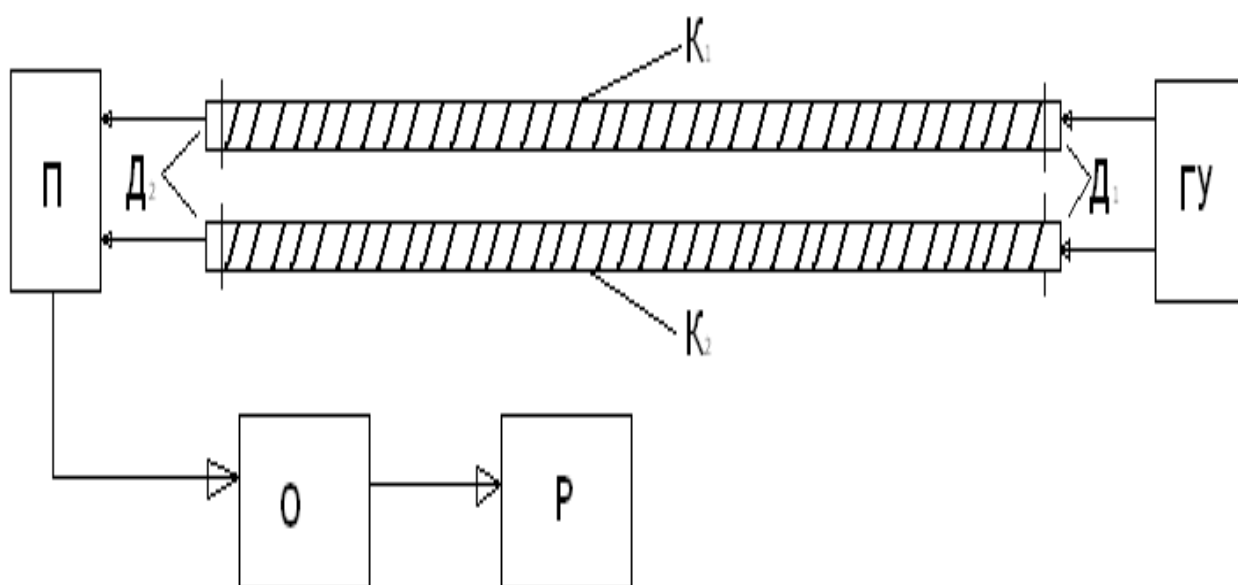


Рисунок 2.3 - Блок схема стенда для исследования состояния стального каната.  $K_1$  – эталонный образец каната;  $K_2$  – испытуемый образец каната; ГУ – генератор ультразвуковых сигналов; П – приемник сигналов; О – осциллограф; Р – регистратор сигналов с осциллографа.

Методика проведения экспериментальных исследований предполагает следующее:

1. Выбор стальных канатов, наиболее распространённых на подъемных установках барабанного типа и со шкивами трения;
2. Подготовка торцов отрезков каната к креплению пьезодатчиков на стенде;
3. Настройка пьезодатчиков, генератора сигналов, осциллографа и регистратора для проведения исследований;

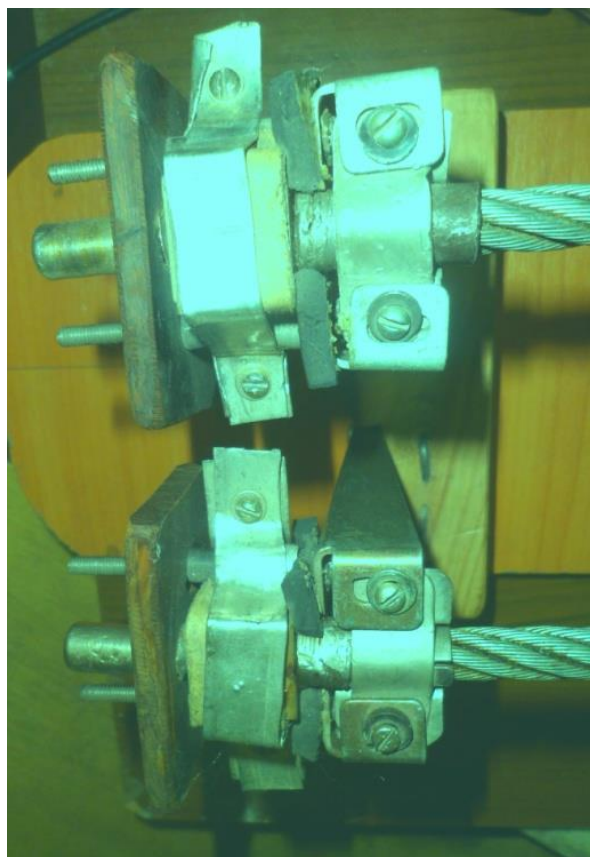
4. Проведение экспериментальных исследований по определению амплитуды, частоты и фазы сигнала при прохождении ультразвука по стальным канатам;

5. Обработка и анализ результатов исследований.

На рисунке 2.4 показана общий вид экспериментального стенда для проведения исследований.



а)



б)

Рисунок 2.4 - Стенд для диагностики стальных канатов: а) общий вид стенда, б) крепление пьезодатчика к торцу стального каната.

Данный предложенный стенд позволяет провести экспериментальные исследования по оценке изменения сечения стального каната в процессе эксплуатации, определить дефекты в месте крепления стального каната к прицепному устройству, разработать устройство непрерывного контроля за режимом работы и конструктивной целостности стальных канатов на подъемных установках барабанного типа и подъемных установок со шкивами трения [40].

## **2.2. Алгоритм работы системы контроля натяжения стального каната**

Любые стальные канаты, скрученные вместе, растягиваются при растягивающей нагрузке в три этапа в зависимости от величины приложенной нагрузки.

В начале загрузки нового каната создается удлинение в связи с прикатыванием витых проволок с соответствующим уменьшением общего диаметра. Уменьшение диаметра вызывает чрезмерную длину проволоки и сопровождается расширением спиральной прокладки. Когда на соседних проволоках создаются достаточно большие опорные поверхности, чтобы выдерживать круговые сжимающие нагрузки, эти удлинения прекращаются и начинается упругое удлинение. Начальное удлинение любого каната не может быть точно определено расчетами [21].

Выбор каната зависит от многих факторов, наиболее важными из которых являются тип и конструкция каната, диапазон нагрузки, количество и частота рабочих циклов [23].

После завершения начального удлинения канат относительно точно удлиняется по закону Гука до тех пор, пока не будет достигнут предел пропорциональности или предел упругости. Для установления справедливости закона Гука при растяжении необходимо, чтобы в процессе опыта между деформациями и соответствующими им усилиями существовала практически прямо пропорциональная зависимость [41].

Модуль упругости для разных канатных конструкций различен, но обычно он увеличивается с увеличением площади поперечного сечения металла. Используя формулу (2.5) можно сделать оценку упругого удлинения, но, если требуется большая точность, рекомендуется проверить модуль упругости на реальном образце каната.

Последний шаг - остаточное удлинение. Это постоянное неупругое удлинение стали, вызванное растягивающими нагрузками, превышающими

предел текучести материала. Если нагрузка превышает предел пропорциональности, скорость удлинения будет увеличиваться по мере увеличения нагрузки, пока не будет достигнута нагрузка, при которой начинается остаточное удлинение, что вызывает разрушение каната без дальнейшего увеличения нагрузки [21].

На долговечность каната оказывает большое влияние перегибы каната на канатоведущем шкиве и отводных блоках. Чем меньше перегибов делает канат на отводных блоках, тем дольше срок его службы. Условие перегиба (расчетное отношение  $e$ ) каната проверяется по формуле [22]:

$$e = \frac{D_{ш}}{d_k} \geq [e], \quad (2.1)$$

где,  $\frac{D_{ш}}{d_k}$  - соответственно диаметры шкива и каната, мм.

При выборе тяговых канатов для повышения их долговечности (из условия перегиба) следует отдавать предпочтение канатам, имеющим большее отношение диаметра канатоведущего шкива  $D_{ш}$  к диаметру каната  $d_k$ . Желательно принимать  $[e] \geq 50$  [22].

Тяговые канаты, применяемые для подвешивания подъемного сосуда и противовеса, должны удовлетворять условиям конструктивной идентичности и единого диаметра. Соблюдение этих требований является критически важным для обеспечения равномерного распределения нагрузки, стабильного сцепления с канатоведущим шкивом и минимизации износа. Тяговые канаты подъемных установок функционируют под постоянной нагрузкой, которая не зависит от того, перемещается ли кабина подъемной установки или стоит неподвижно, имеются ли в кабине пассажиры и груз или кабина пуста. Поэтому тяговые канаты должны обладать высокой гибкостью, достаточной прочностью и долговечностью [22].

В связи с этим необходимо правильно выбрать и рассчитать канаты. Стальные канаты подъемных установок проверяются на прочность по разрыву, по условию перегиба и долговечности. По Правилам безопасности стальные

канаты должны рассчитываться на прочность, исходя из наибольшего рабочего натяжения в ветви каната, по формуле:

$$K = \frac{P_p}{S} \geq [K], \quad (2.2)$$

где  $K$  - расчетный коэффициент запаса прочности;  $P_p$  - разрывное усилие каната в целом, кгс;  $S$  – наибольшее, рабочее натяжение в ветви каната (без учета динамических нагрузок), кгс;  $[K]$  - допустимый коэффициент запаса прочности.

Значение наименьшего коэффициента запаса прочности канатов для подъемных установок должно соответствовать нормам, регламентируемым Правилами безопасности для пассажирского лифта с лебедкой, оснащенной канатоведущим шкивом, составляет  $[K] = 13$ .

Расчетное натяжение в ветви каната кабины определяется по формуле:

$$S = \frac{Q + Q_k + Q_1 + 0,5 * Q_2}{n}, \quad (2.3)$$

где  $Q$  - номинальная грузоподъемность лифта, кг;  $Q_k$  - масса кабины, кг;  $Q_1$  - масса канатов от точки сбегания их с канатоведущего шкива, расположенного над шахтой лифта до точки крепления на кабине при ее нижнем положении, кг;  $Q_2$  - масса натяжного устройства уравнивающих канатов, кг;  $n$  - число канатов, на которых подвешена кабина или противовес.

Показателем износа канатов служат обрывы проволок на его поверхности, легко замечаемые при наружном осмотре. Обрывы проволок происходят не одновременно, а постепенно, нарастая с течением времени. Основанием для отбраковки канатов служит число допускаемых обрывов проволок на длине одного шага свивки, а также потери сечения и коррозии.

Число допускаемых в канате порывов проволок зависит от первоначального запаса прочности и конструкции каната (числа проволок в канате и характере свивки) [22].

Когда кабина подвешена на трех и более канатах, то выбраковывают по среднему арифметическому значению, определяемому исходя из наибольшего числа обрывов проволок на длине одного шага свивки каждого каната. При

этом у одного из канатов допускается повышенное число обрывов проволок, но не более чем на 50% против норм, оговоренных в Правилах безопасности. При обнаружении в канате оборванной пряди – канат отбраковывают.

Механические характеристики стальных канатов (сталь углеродистая) являются:

|                            |                                                           |       |
|----------------------------|-----------------------------------------------------------|-------|
| модуль упругости           | $E = 2,0 \div 2,1 * 10^6 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2};$ |       |
| модуль сдвига              | $G = 8,1 * 10^5 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2};$          |       |
| коэффициент Пуассона       | $\mu = 0,24 \div 0,28;$                                   |       |
| момент инерции круга       | $J_x = J_y \approx 0,05 * d^4;$                           |       |
| момент сопротивления круга | $W_x = W_y \approx 0,1 * d^3;$                            |       |
| радиус инерции круга       | $i_x = i_y \approx \frac{d}{4}.$                          | (2.4) |

Удлинение каната вычисляют по формуле:

$$\Delta l = \frac{P * l}{E * F}; \quad (2.5)$$

где  $l$  - первоначальная длина участка (м);  $P$  - растягивающая сила (Н);  $E$  - модуль упругости (Н/м<sup>2</sup>);  $F$  - площадь поперечного сечения (м<sup>2</sup>).

Напряжение:

$$\sigma = \frac{P}{F}; \quad (2.6)$$

Относительное удлинение:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}; \quad (2.7)$$

Закон Гука:

$$\sigma = E * \varepsilon; \quad (2.8)$$

Растягивающая сила:

$$P = E * F * \frac{\Delta l}{l}; \quad (2.9)$$

Согласно проведенным расчетам упругого удлинения проволоки стального каната со следующими параметрами  $F = 0.5\text{мм}$ ,  $E = 2.1 \times 10^6 \text{ кг/мм}^2$ , и  $L = 150 \text{ мм}$  получили зависимость упругого удлинения от нагрузки (рисунок 2.5), которые приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 - Теоретический расчет упругого удлинения проволоки



| $P$ (кг) | $\Delta L$ ( $\cdot 10^{-3}$ м) | $P$ (кг) | $\Delta L$ ( $\cdot 10^{-3}$ м) |
|----------|---------------------------------|----------|---------------------------------|
| 10       | 1,619                           | 160      | 25,905                          |
| 20       | 3,238                           | 170      | 27,524                          |
| 30       | 4,857                           | 180      | 29,143                          |
| 40       | 6,476                           | 190      | 30,762                          |
| 50       | 8,095                           | 200      | 32,381                          |
| 60       | 9,714                           | 210      | 34                              |
| 70       | 11,333                          | 220      | 35,619                          |
| 80       | 12,952                          | 230      | 37,238                          |
| 90       | 14,571                          | 240      | 38,857                          |
| 100      | 16,19                           | 250      | 40,476                          |
| 110      | 17,81                           | 260      | 42,095                          |
| 120      | 19,43                           | 270      | 43,714                          |
| 130      | 21,048                          | 280      | 45,333                          |
| 140      | 22,667                          | 290      | 46,952                          |
| 150      | 24,286                          | 300      | 48,571                          |

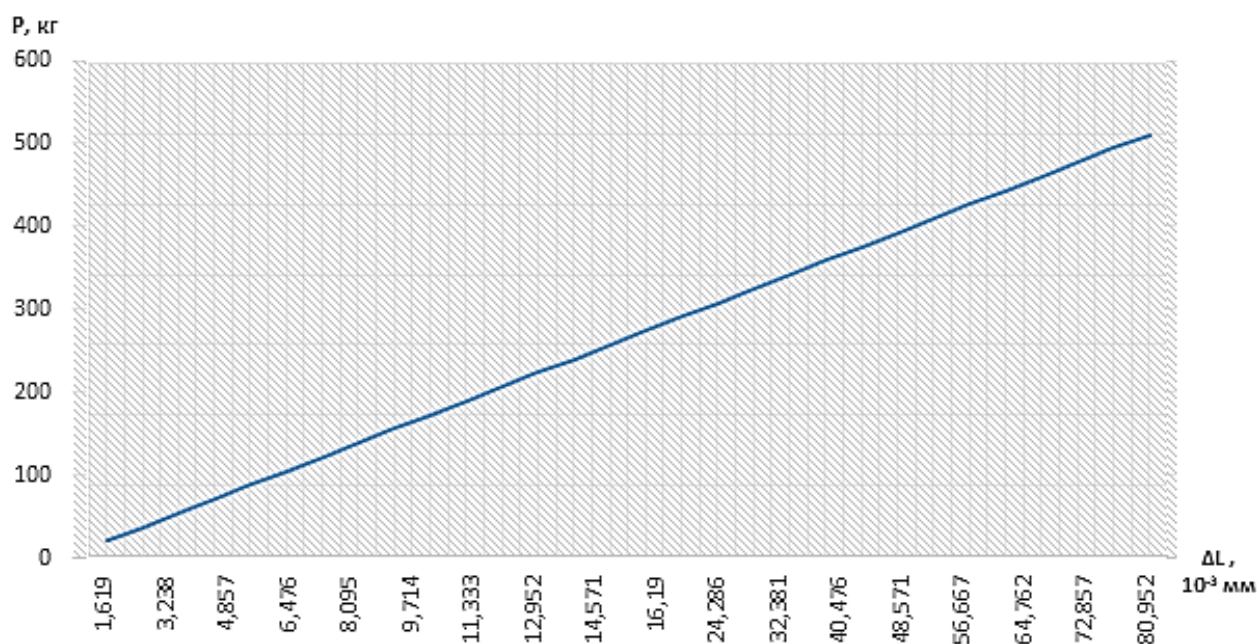


Рисунок 2.5 - График зависимости упругого удлинения от растягивающей силы при статистических данных

В современных подъемных установках противовесы уравнивают полностью массу кабины и часть поднимаемого в ней груза, что позволяет уменьшить мощность электродвигателя лебедки [22].

Массу противовеса  $P_n$  можно определить по формуле:

$$P_n = P_k + CQ, \quad (2.10)$$

где  $P_k$  – масса кабины, кг;  $C$  – коэффициент уравнивания;  $Q$  – грузоподъемность лифта, кг.

Коэффициент уравнивания влияет на величину мощности выбираемого для подъемной установки электродвигателя. Если бы в кабине всегда поднимался нормальный груз, то лучшим коэффициентом уравнивания был бы  $C = 0,5$ . В таком случае при подъеме груза, равного номинальной грузоподъемности, масса неуравновешенного груза определяется по формуле

$$(P_k + Q) - (P_k + 0,5 * Q) = 0,5 * Q; \quad (2.11)$$

При движении ненагруженной кабины вниз неуравновешенный груз составляет

$$P_k - (P_k + 0,5 * Q) = 0,5 * Q; \quad (2.12)$$

т.е. также  $0,5 \times Q$ . Если бы в кабине, как при движении вверх, так и при движении вниз поднимался бы номинальный груз, то идеальным коэффициентом уравнивания был бы  $C = 1$ , а номинальная мощность электродвигателя была необходима только для определения сил инерции.

При выборе массы противовеса следует проверить тяговую способность канатоведущего шкива при заданном профиле его ручья и заданном угле обхвата его канатом [22].

Мощность электродвигателя (кВт) в этом случае рассчитывают на неуравновешенный груз и приближенно ее можно определить по формуле

$$P_{эл} = \frac{Q * (1 - C) * v}{102 * \eta}, \quad (2.13)$$

где  $v$  – скорость движения кабины подъемной установки,  $\frac{м}{с}$ ;  $\eta$  – КПД лебедки подъемной установки [22].

Для подъемных установок применяют различные типы электроприводов, каждый из которых имеет свои специфические особенности. Основной эксплуатационной характеристикой служит номинальная рабочая скорость, от величины которой зависит тип приводного двигателя.

Помимо этого, выбор типа приводного двигателя в лифтах зависит от требуемой точности остановки кабины, необходимой плавности работы лифта, стоимости изготовления и эксплуатации электропривода и некоторых других факторов [22, 42].

Диаграмма скорости подъемной установки с двухскоростным асинхронным двигателем, при подъеме кабины с нижнего этажа до одного из верхних этажей показана на рисунке 2.6. После окончания разгона в момент  $t_1$  кабина движется с номинальной скоростью  $v_B$ , а двигатель вращается со скоростью  $n_B$ . В момент времени  $t_2$  с помощью этажного переключателя, установленного в строго определенной точке шахты, к сети подключается обмотка двигателя с большим числом полюсов (обмотка малой скорости).

При скорости  $n_B$  двигатель работает в режиме генераторного торможения. Вследствие торможения скорость кабины уменьшается до скорости  $v_A$ , скорость двигателя – до скорости  $n_A$ . С момента времени  $t_3$  подъемная установка движется с малой скоростью, а в момент времени  $t_4$  с помощью датчика точной остановки подъемная установка затормаживается [43].

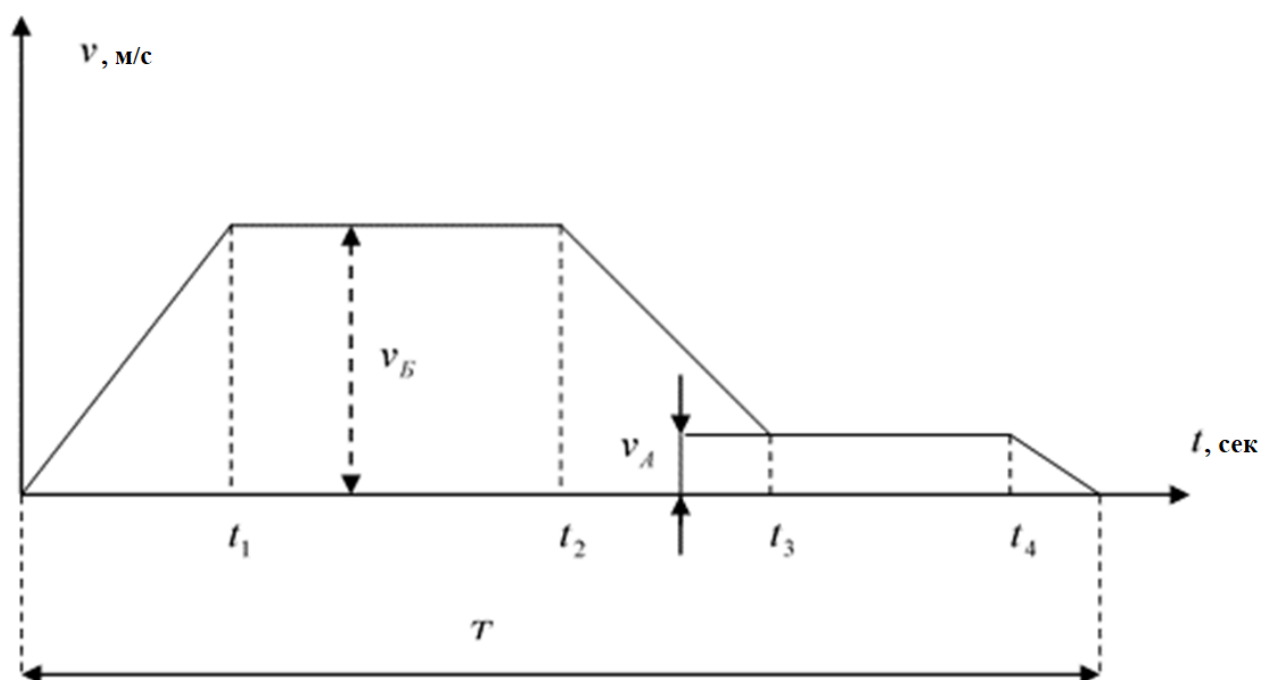


Рисунок 2.6 - Диаграмма скорости подъемной установки

Следует отметить, что при подъеме пустой кабины ее замедление после переключения с обмотки большой скорости на малую будет меньше по сравнению с замедлением грузовой кабины. Поэтому пустая кабина достигает малой скорости позже. Это обстоятельство учитывают при определении места установки этажного переключателя, переключающего двигатель с большой скорости на малую.

Электропривод подъемной установки с двухскоростным асинхронным двигателем при опускании кабины работает также как при подъеме. Особенность спуска состоит в том, что как большая скорость  $n'_B$ , так и малая скорость  $n'_A$  будут больше соответствующих скоростей ( $n'_B$  и  $n'_A$ ) при подъеме.

Также, еще одна динамическая особенность состоит в том, что при спуске грузовой кабины величина замедления при переключении двигателя с большой скорости на малую меньше, чем замедление пустой кабины [43].

### **2.3. Методика механического измерения контроля натяжения стальной проволоки**

Одной из наиболее распространенных и основных видов механических испытаний является испытание на растяжение. Испытание на разрыв также определяет качественные характеристики, сравниваемые друг с другом. При этом используются образцы, форма и размеры которых регламентируются ГОСТом 10446-80 (ISO6892-84).

Схема машины по разрыву проволоки стального каната подъемной установки Разрывная машина Р-0,5 изображена на рисунке 2.7[44].

Основные узлы машины: привод; механизм перемещения траверсы; пульт управления; силоизмеритель; захваты; органы управления и показывающие приборы; электрооборудование.

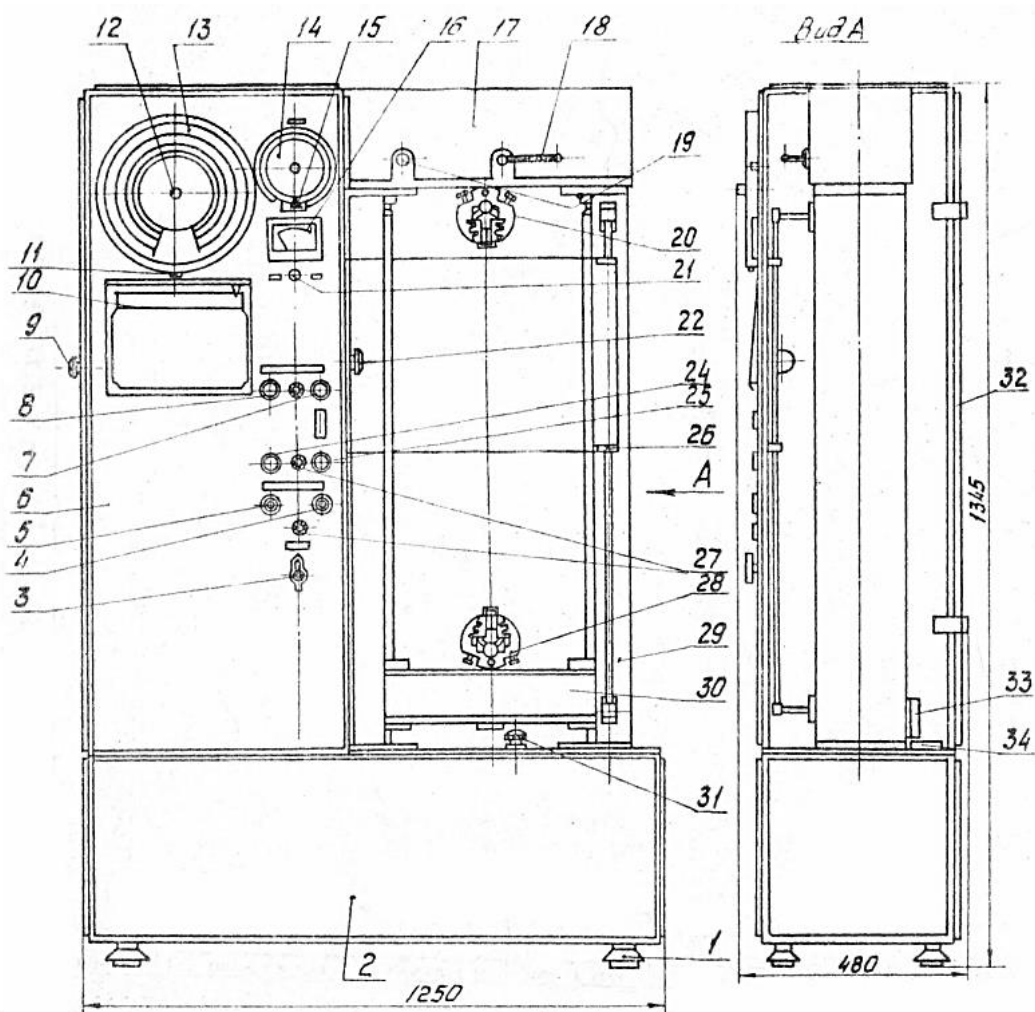


Рисунок 2.7 – Общий вид машины Р-0,5

1 – опоры; 2 – привода; 3 – переключателя «сеть»; 4 – регулятора скорости «точно»; 5 – регулятора скорости «грубо»; 6 – пульт управления; 7 – кнопки «вверх»; 8 – кнопки «стоп»; 9 – ручки перемотки диаграммы; 10 – самопишущего прибора; 11 – ручки установки нуля; 12 – ручки возврата контрольной стрелки; 13 – шкалы нагрузок; 14 – шкалы деформации; 15 – указатель-корректора шкалы деформации; 16 – указателя скорости; 17 – кожуха силоизмерителя; 18 – арретира; 19 – транспортировочного отверстия; 20 – пассивного захвата; 21 – переключателя указателя скорости; 22 – переключателя масштабов записи деформации; 24 – кнопки «ускоренно»; 25 – кнопки «вниз»; 26 – защитного экрана; 27 – сигнализации; 28 – активного захвата; 29 – механизма перемещения траверсы; 30 – подвижной траверсы; 31 – маслоуказателя; 32 – двери; 33 – микропереключателя; 34 – уровня

Данный стенд позволяет провести экспериментальное исследование по разрыву проволок стального каната разного типа, что дает возможность провести анализ упругого удлинения по видам испытываемых канатных проволок и использовать наиболее эффективное их них.

Руководство по ревизии, наладке и испытанию шахтных подъемных установок требует, чтобы "каждая подъемная установка, за исключением установок со шкивами трения, должна быть оборудована защитой от провисания струны и напуска" [45]. Поэтому к ним предъявляются высокие требования при выборе, навивке, испытаниях и надзоре в период эксплуатации. Канаты шахтных подъемных установок подлежат осмотру ежедневно, еженедельно и ежемесячно [33].

Порядок проведения эксперимента заключается в следующем: для начала необходимо подготовить испытываемые образцы по требованиям ГОСТ, затем испытываемый образец закрепляется в захватах. Самопишущий прибор подготавливается к работе, после включается машина в работу нажатием на кнопку «вниз». Во время работы машины устанавливается, наблюдение за испытываемым образцом, шкалой нагрузок и деформации и работой диаграммного аппарата. После разрушения образца электропривод отключается автоматически, результаты измерений сводятся в таблицы и снимается диаграмма, а разрушенный образец из захватов удаляется [44].

В процессе нагружения пассивный захват перемещается на некоторую величину, максимальное значение которой равно 6 мм. Это перемещение пассивного захвата также отражается и на диаграмме «нагрузка-деформация». Поэтому для определения по диаграмме истинного удлинения образца в любой точке диаграммы необходимо:

а) от верхней точки ординаты ( $P_{MAX}$ ) в направлении оси абсцисс, отложить отрезок, параллельный оси абсцисс, длина которого равна максимальному перемещению активного захвата (6мм), умноженному на масштаб записи;

б) соединить конец отрезка с нулевой точкой диаграммы. Эту линию считают осью ординат (нагрузок) и величину удлинения в выбранной точке определять до этой линии по напряжению, параллельному оси абсцисс в нашем

случае масштаб записи 20:1.  $BA$  – расстояние, пройденное активным захватом [46].

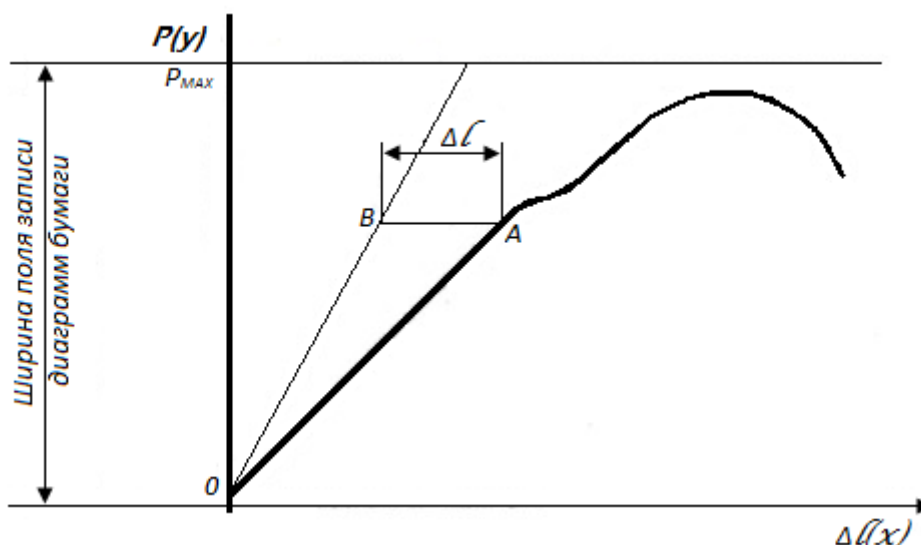


Рисунок 2.8 - График определения упругого удлинения по диаграмме

**Объектом исследования** является процесс эксплуатации несущих стальных канатов шахтных подъемных установок, рассматриваемый с целью оценки их прочности и долговечности под влиянием силовых нагрузок, возникающих в процессе работы ШПУ.

**Предметом исследования** являются несущие стальные канаты, непосредственно эксплуатируемые в составе шахтных подъемных установках, сфокусированный на изучении их технического состояния, механических свойств и деградации в условиях длительного нагружения.

## ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 2

1. Рассмотрен широкий спектр методов и средств неразрушающего контроля, используемых для диагностики состояния материалов и конструкций, что необходимо для обеспечения безопасности и надежности шахтных подъемных установок и других механизмов.

2. Представлена блок-схема стенда для ультразвуковых исследований состояния стального каната. Выявлено, что применение ультразвуковой технологии позволяет контролировать критические характеристики канатов,

включая натяжение, коррозию и внутренние дефекты. Обоснована значимость данных исследований как важного шага в повышении надежности и безопасности конструкций.

3. Рассмотрен алгоритм работы системы контроля натяжения стального каната подъемных установок, который базируется на анализе этапов растяжения каната и факторов, влияющих на его долговечность, как приложенная нагрузка и модуль упругости материала.

4. Рассмотрен методика механического измерения контроля натяжения стальной проволоки, которая основывается на испытаниях на растяжение позволяющая детально исследовать физические характеристики проволоки что является важным для оценки эксплуатационных характеристик стальных канатов, обеспечения их безопасности и долговечности в подъемных установках.



## **ГЛАВА 3. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАТЯЖЕНИЯ СТАЛЬНЫХ ПРОВОЛОК НЕСУЩИХ КАНАТОВ**

### **3.1. Математическое моделирование динамического движения подъемной установки в стволе шахты**

При эксплуатации шахтных подъемных установок для добычи ископаемых минеральных ресурсов основная задача является обеспечение безопасности работ на шахте. Основным элементом при этом является подъемные установки, на которых перевозят груз или рабочих [47].

В случае несоблюдения норм загрузки и выгрузки груза из клетки либо увеличение его массы приводит к повышенной нагрузке на стальные канаты [48], которые являются основным тяговым элементом всей системы.

Правила техники безопасности имеют своей целью предупредить несколько типов возможных поломок у подъемников [49]. Среди них мы видим заклинивание в результате сдвига, крушения при падении, пожара, повреждения материальной части, аварии по причине износа и аварии из-за коррозии материалов. Должна быть гарантирована безопасность пользователей подъемной установки, обслуживающего и инспектирующего персонала, а также тех, кто находился за пределами шахт подъемников и вне машинного зала. В число объектов для защиты включены также следующие предметы как перевозимые грузы, комплектующие механизмы и т.д. [50].

При работе подъемной установки в стволе шахты на пути могут возникнуть препятствия, которые могут привести к аварийной ситуации. Заклинивание может вызываться перекосами и тепловым расширением деталей. Также значение имеют смазка, шероховатость обработки поверхностей и точность направляющих [51].

Поэтому, основная цель является обеспечение безопасности путем заблаговременного определения максимального значения нагрузки растяжения

и времени обрыва стального каната при динамическом движении подъемной установки в стволе шахты.

Согласно изучаемой шахтной подъемной установки стальной канат перемещается по вертикальной оси, показанной на рисунке 3.1. Для получения динамического движения рассматривается плоская задача в декартовой системе координат  $xOy$ [47]

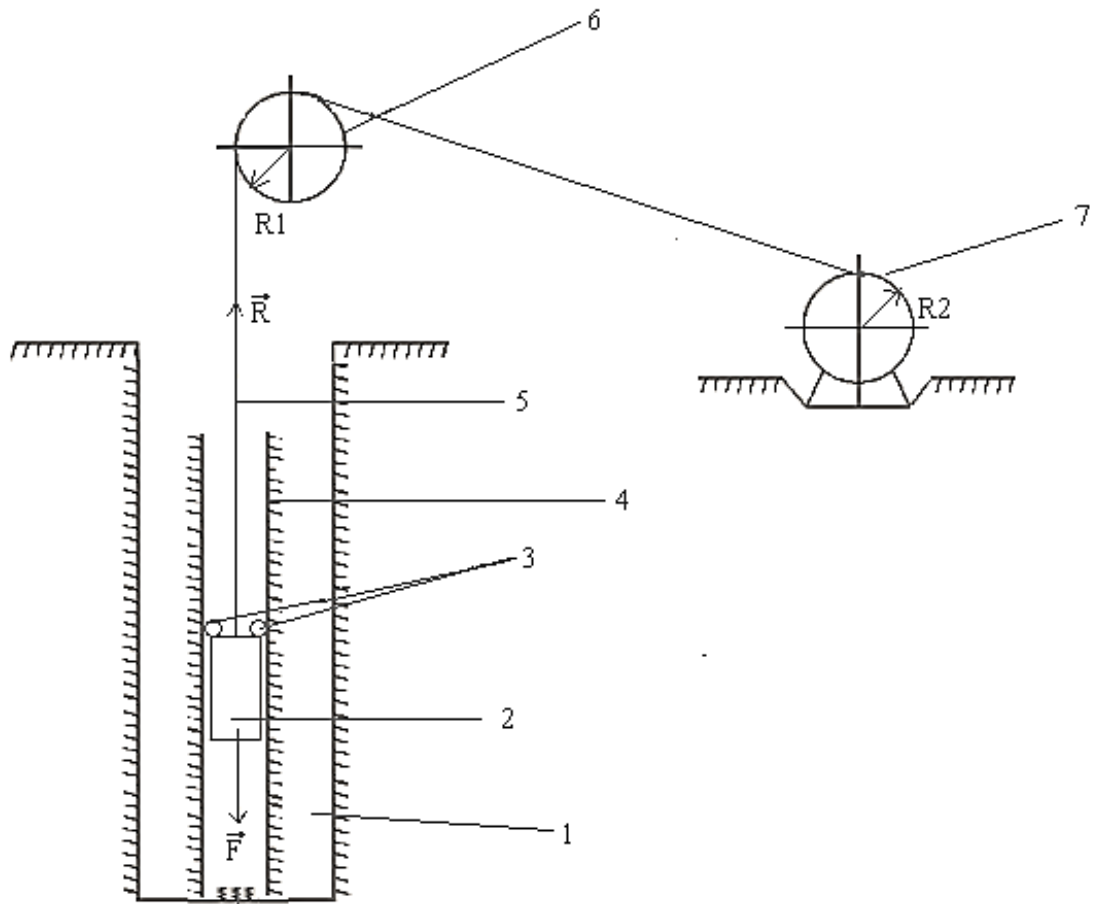


Рисунок 3.1. Схема подъемной установки в стволе шахты

1-ствол шахты; 2 лифт; 3-препятствие; 4-направляющие 5- стальной канат; 6-шкиф; 7- барабан

Масса подъемной установки обозначается через  $M$  и на него действует активные силы  $\vec{F}_i$  и реактивные силы  $\vec{R}_i$ . Как видно из рисунка 3.1 в качестве активной силы выступает сила тяжести подъемного сосуда по направлению оси, а также в качестве реактивной силы выступает натяжение троса, которое имеет противоположное направление активной силе [47, 52].

Тогда общая математическая модель движения каната описывается следующим образом [47]:

$$\sum \vec{F}_i + \sum \vec{R}_i = m \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2} \quad (3.1)$$

Все значения переносим в левую часть уравнения

$$\sum \vec{F}_i + \sum \vec{R}_i - m \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2} = 0 \quad (3.2)$$

В уравнение (3.2) можно ввести обозначение  $\vec{\Phi} = -m \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2}$  (3.3)

В классической литературе  $\vec{\Phi}$  носит название силы инерции. В рассматриваемой системе, приведенной на рисунке 3.1, сила инерции всегда противоположно направлена ускорению подъемной установки [53].

После всех обозначений окончательное уравнение имеет следующий вид:

$$\sum \vec{F}_i + \sum \vec{R}_i + \vec{\Phi} = 0 \quad (3.4)$$

Уравнение (3.4) представляет собой математическую модель динамики движения подъемной установки (рисунок 3.2).

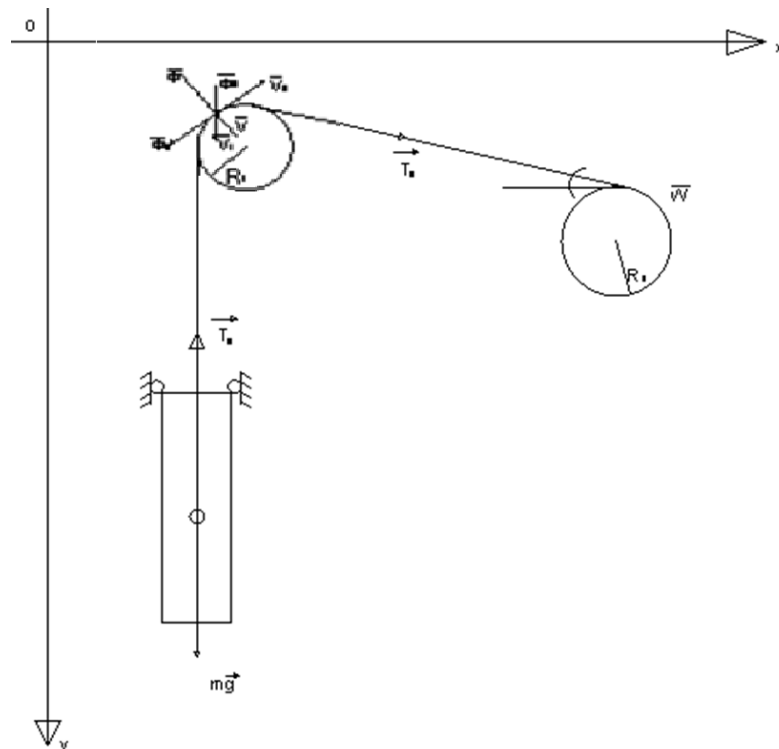


Рисунок 3.2. Математическая модель динамики движения подъемной установки  
 $V_n$ -нормальная скорость,  $V_t$ -тангенциальная скорость вращения барабана,  $\vec{V}$ - скорость вращения барабана,  $R_1 = R_2$ -радиус барабана,  $\omega$  -частота вращения,  $\vec{\Phi}_n$ -нормальная сила инерции

Как видно из рисунка 3.2 сила инерции это:  $\vec{\Phi} = \vec{\Phi}_\tau + \vec{\Phi}_n$  (3.5)

где  $\vec{\Phi}_n$ -нормальная сила инерции,  $\vec{\Phi}_\tau$ -тангенциальная сила инерции

С учетом реакционной силы  $\vec{R}_i$  - это есть  $T$ ,  $\vec{R}_i = T$ , а активная сила  $\vec{F}_i = m * \vec{g}$

$$\vec{T} + m \vec{g} + \vec{\Phi} = 0 \quad (3.6)$$

Берем проекцию сил на ось Оу, где динамическое уравнение движения первого барабана имеет вид:

$$m \vec{g} - T_y = -ma_y \quad (3.7)$$

где  $m$  – приведенная масса, кг;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $T_y$  – проекция силы натяжения каната на ось Оу, Н;  $a_y = \frac{d^2y}{dt^2}$  – проекция ускорения на ось Оу, м/с<sup>2</sup>;

Так как движение является не равномерным то скорость в каждой точке определяется:

$$V_y = V_{oy} + a_{yt} \quad (3.8)$$

Теперь рассмотрим проекцию сил для второго ведущего барабана Оу, где уравнение движения второго барабана имеет следующий вид:

$$T * R_2 \sin \alpha = T_2 \frac{d\omega}{dt} \quad (3.9)$$

где  $T$  – сила натяжения, Н;  $R_2$  – радиус барабана, м;  $T_2$  – момент инерции, кг\*м<sup>2</sup>;  $\omega$  – угловая скорость барабана, рад/сек.

Из уравнения (3.7) можно определить максимальную и минимальную натяжения каната:

$$T_y = mg + m \frac{d^2y}{dt^2} = m(g + \frac{d^2y}{dt^2}) \quad (3.10)$$

Так как частоту вращения вала считаем известной, тогда связь поступательного и вращательного движения связана по формуле:

$$a_y = \frac{d}{dt}(\omega R_i) = R_i \frac{d\omega}{dt} \quad (3.11)$$

отсюда следует:

$$T_y = m(g + R_i \frac{d\omega}{dt}) \quad (3.12)$$

Теперь из данного уравнения можно определить максимальное и минимальное натяжения троса в момент столкновения подъемной установки с препятствием (рисунок 3.3).

Проекция векторов приложенные в данную рабочую систему можно описать с помощью декартовой системы координат, и проекция выглядит следующим образом:

$$T_y - F_{ynp1y} - F_{ynp2y} = m(g + R_i \frac{d\omega}{dt}) \quad (3.13)$$

где,  $F_{ynp} = \kappa \vec{V}$  - проекция сил,  $\vec{V}$  – скорость вращения барабана;  $\kappa$  - коэффициент трения при срабатывании.

Решая уравнение (3.13) относительно сил, получим формулу:

$$T_y - 2\kappa \vec{V}_y = m(g + R_i \frac{d\omega}{dt}) \quad (3.14)$$

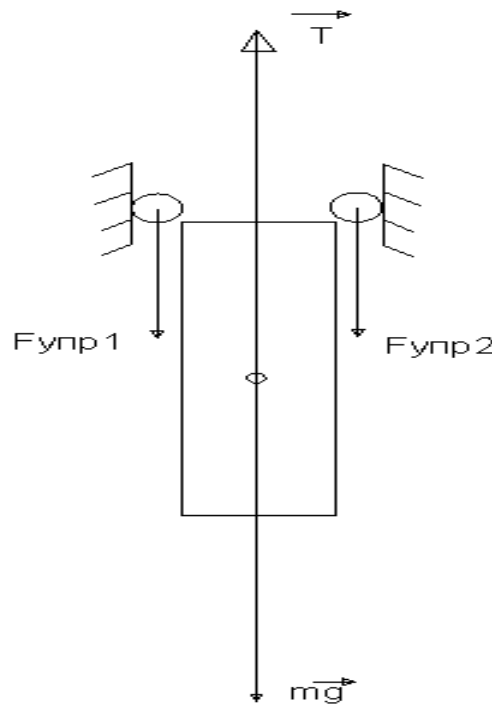


Рисунок 3.3 - Момент столкновения подъемной установки с препятствием

Как известно при максимальном натяжении троса происходит обрыв каната с динамическим стремлением скалярного значения силы натяжения троса к 0, что означает  $T_y = 0$

Таким образом из уравнения (3.14) можно определить время обрыва каната после приобретение движения  $V_{y\max}$

$$g + R_i \frac{d\omega}{dt} = \frac{2k}{m} V_y \quad (3.15)$$

где  $k$  – коэффициент трения, Нс/м;  $V_y$  – скорость вращения барабана, м/с<sup>2</sup>

Максимальная скорость движения подъемной установки в шахте, которая приводит к разрыву стального каната можно представить в виде дифференциального уравнения изменения частоты вращения двигателя по времени выражается по формуле:

$$V_{y \max} = R \frac{d\varphi_{\max}}{dt} \quad (3.16)$$

где  $\omega_{\max} = \frac{d\varphi_{\max}}{dt}$  – угловая скорость, рад/с;

Совместно решая уравнения (3.15) и (3.16), можем привести к следующему виду:

$$g + R_i \frac{d\omega_{\max}}{dt} = \frac{2k}{m} R \omega_{\max} \quad (3.17)$$

Уравнение (3.17) решаем в виде:

$$\omega'_{\max} = \omega_1 + \omega_2 \quad (3.18)$$

$$\frac{d\omega}{dt} - \frac{2k}{m} \omega = -\frac{g}{R} \quad (3.19)$$

Линейное дифференциальное уравнение представим в виде:

$$\frac{d\omega_1}{dt} = \frac{2k}{m} \omega_1 \quad | : \omega_1 \quad (3.20)$$

$$\frac{d\omega_1}{\omega_1} = \frac{2k}{m} dt \quad (3.21)$$

Интегрируем полученное уравнение:

$$\int_{\omega_{\min}}^{\omega_{\max}} \frac{d\omega_1}{\omega_1} = \frac{2k}{m} \int_{t_0}^t dt \quad (3.22)$$

После интегрирования получим:

$$\omega_{\max} = \omega_{\min} * e^{\frac{2k}{m} t_1}; \quad (3.23)$$

$\omega_{\max}$  – максимальная угловая скорость, рад/с;  $\omega_{\min}$  – минимальная угловая скорость, рад/с;

$\omega_2$  – ищем в виде:

$$\omega_2 = -\frac{g}{R} t_2 + \omega_{\min} \quad (3.24)$$

$$\omega_{max} = \omega_{min} * e^{\frac{2k}{m}t_1} - \frac{g}{R}t_2 \quad (3.25)$$

Теперь можно найти общее время, за которое происходит разрыв каната.

$$t = t_1 + t_2 \quad (3.26)$$

$$\begin{cases} t_1 = \frac{2k}{m} \ln\left(\frac{\omega_{max}}{\omega_{min}}\right) \\ t_2 = \frac{R}{g}(\omega_{max} - \omega_{min}) \end{cases} \quad (3.27)$$

Совместно решая уравнение (3.26) и (3.27) время обрыва стального каната принимает следующий вид:

$$t = \frac{m}{2k} \ln\left(\frac{\omega_{max}}{\omega_{min}} + \frac{R}{g}(\omega_{max} - \omega_{min})\right) \quad (3.28)$$

А для всех случаев при движении подъемной установки в шахте сила натяжения из формулы (3.14) преобразуется к следующему виду:

$$T_y = 2kR\omega + m(g + R_i \frac{\omega}{t}) \quad (3.29)$$

Основываясь на параметры рабочей модели, учитываем все необходимые параметры как коэффициент трения, радиус двигателя, рабочей массы, частоты вращения двигателя производим численный расчет в среде Matlab. Полученные данные показаны на рисунке 3.4 [54, 55].

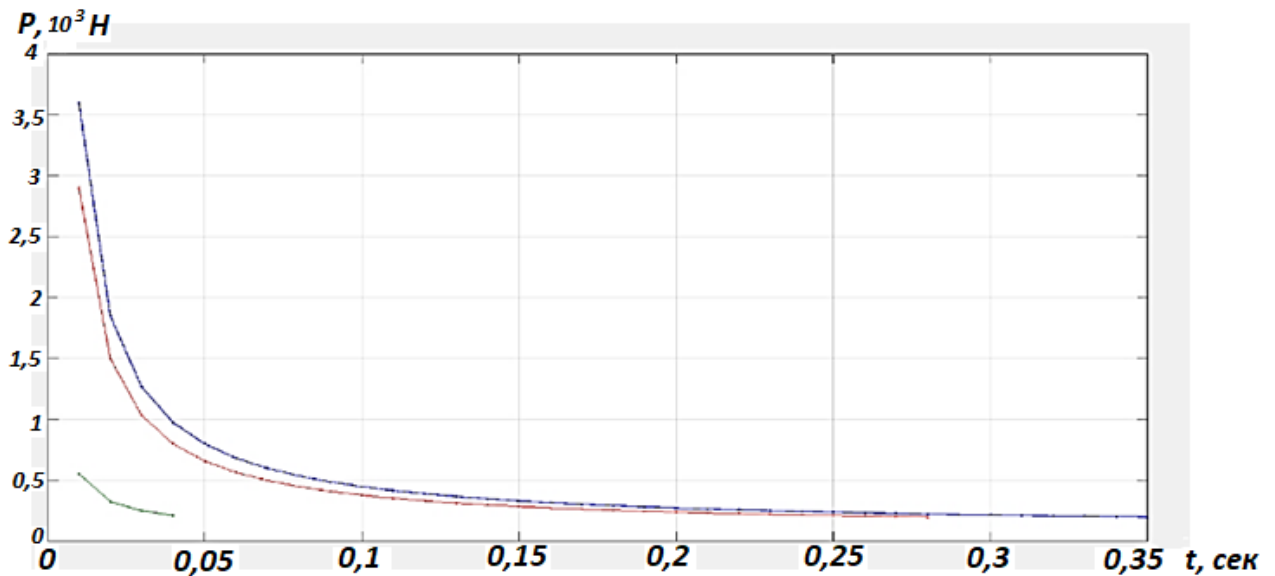


Рисунок 3.4 - Зависимость времени разрыва от нагрузки

На рисунке 3.4 видно, что увеличение нагрузки приводит к сокращению времени, необходимого для обрыва каната. Это подтверждает важность соблюдения норм нагрузки и контроля скорости вращения в процессе эксплуатации подъемных установок.

### 3.2. Численные расчеты изменения температуры каната при одноосном растяжении

Рассмотрим натяжение проволоки стального каната 12 Г-В-Н-Р-1770 ГОСТ 3077-80 производства АО «Белорецкий металлургический комбинат Мечел» [56] диаметром  $d = 1$  мм под действием силы натяжения подъемной установки при подъеме. Рассматриваемое напряженно-деформированное состояние элементарного участка проволоки  $dl$  показана на рисунке 3.1.

Положение любой точки в цилиндрической системе координат задается в виде рисунка 3.5 [55]. Координаты начального состояния задаём в виде [52]:

$$\begin{cases} x = r \cos \varphi \\ y = r \sin \varphi \\ z = h \end{cases} \quad (3.30)$$

где  $r$ -радиус вектор,  $r \geq 0$ ,  $0 \leq \varphi \leq 2\pi$ ,  $0 \leq h \leq \ell$

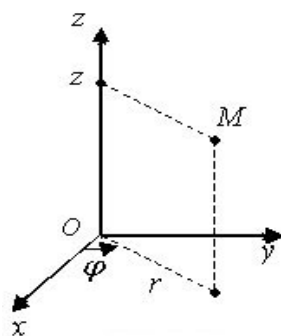


Рисунок 3.5 - Положение точки в цилиндрической системе координат

При растяжении сплошного цилиндрического тела (проволоки) переменной силой  $F(t)$ , все точки начинают перемещаться относительно систем координат (рисунок 3.6) [52,57].



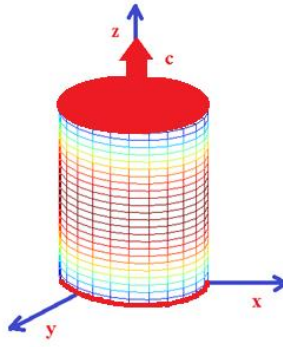


Рисунок 3.6 - Растяжение каната переменной силой

Согласно классической теории упругости, перемещения в цилиндрической системе координат запишем виде формулы (3.31). [52].

$$\begin{cases} u_x = u_{ox} + c(t) \cdot r \cdot \cos(\varphi) \cdot (a_2 \cdot z^2 + a_1 \cdot z + a_0) \\ u_y = u_{oy} + c(t) \cdot r \cdot \sin(\varphi) \cdot (a_2 \cdot z^2 + a_1 \cdot z + a_0) \\ u_z = u_{oz} + c(t) \cdot z \end{cases} \quad (3.31)$$

где  $c(t)$  – безразмерная постоянная зависящая от времени.

Для описания растяжения вводим функцию:

$$a_2 \cdot z^2 + a_1 \cdot z + a_0 \quad (3.32)$$

где  $a_2$  ( $\text{м}^{-2}$ ),  $a_1$  ( $1/\text{м}$ ),  $a_0$  ( $\text{м}^0$ ) - постоянные коэффициенты.

Участок каната в точке М представляет собой цилиндр. Элементарная работа при одноосном растяжении по вертикальной оси  $z$  определяется как интеграл [52]:

$$A = \int F_{\text{раст } z} * dz = \int \sigma_{ij} * S * dz \quad (3.33)$$

где  $\sigma_{ij}$ -тензор напряжения, Па;  $S$  -площадь поперечного сечения участка,  $\text{м}^2$ ,  $dz$  – длина участка, м.

Запишем закон Гука для цилиндрического участка при одноосном растяжении:

$$\sigma_z = E * \varepsilon_z \quad (3.34)$$

где  $E$ -модуль Юнга для стали, Па;  $\varepsilon_z$ - относительная деформация,

Совместно решая (3.31) и (3.34) получим:

$$\sigma_z = c(t) * E \quad (3.35)$$

где;  $c(t)$  – безразмерный коэффициент.

Тогда работа растяжения равна:

$$A = \int c(t) * E * S * dz \quad (3.36)$$

Теплота деформации при одноосном растяжении равна:

$$Q = \int c * m * dT \quad (3.37)$$

где  $c$  - теплоемкость стали, Дж/кг<sup>0</sup>С;  $m = \rho * \Delta V$  – масса элементарного участка материала, кг;  $T$  – температура, <sup>0</sup>С;

Из классической теории механики известно, что изменение объема цилиндрического упругого тела определяется как:

$$\Delta V = \beta * V_0 * \Delta T \quad (3.38)$$

где  $\beta$  – объемный температурный коэффициент материала, 1/<sup>0</sup>С;  $V_0$  – начальный объем участка, м<sup>3</sup>;  $\Delta T$  – изменение температуры, <sup>0</sup>С;

Совместно решая уравнение (3.37) и (3.38) получим:

$$Q = \int c * \rho * \beta * V_0 * \Delta T * dT = \int c * \rho * \beta * V_0 * T * dT \quad (3.39)$$

По закону сохранения энергии можно найти температуру следующим образом:

$$\int c * m * dT = \int c * \rho * \beta * V_0 * T * dT \quad (3.40)$$

$$\frac{1}{2} c * \beta * \rho * V_0 * T^2 = c(t) * E * S * z \quad (3.41)$$

$$T = T_0 + \sqrt{\frac{2c(t)*E*S*z}{c*\beta*\rho*V_0}} \quad (3.42)$$

где  $T_0$  – начальная температура стали, <sup>0</sup>С;  $c(t)$  – безразмерный коэффициент;  $E$  – модуль упругости стали, Па;  $c$ -теплоемкость образца, Дж/кг<sup>0</sup>С;  $z$ -длина проволоки;  $\rho$  – плотность стали, кг/м<sup>3</sup>;  $V_0$  – начальный объем участка, м<sup>3</sup>;  $\beta$  – температурный коэффициент объемного расширения, 1/<sup>0</sup>С;  $S=\pi R^2$  то окончательно получим:

$$T = T_0 + R \sqrt{\frac{2\pi c(t)*E*z}{c*\beta*\rho*V_0}} \quad (3.43)$$

где  $R$ - радиус цилиндрического участка исследуемого каната, м.

Рассмотрим проволоку стального каната с модулем упругости  $E= 210 \cdot 10^3$  МПа [58] и температурным коэффициентом расширения  $\beta = (12,5 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C})^{-1}$  [59].

Для согласования теоретическую модель с экспериментальными данными, полученными при испытаниях стального каната вводим коэффициент корректировки  $G=10^{11}$ [51].

Теперь можно получить изменение температуры в зависимости изменения нагрузки через ввод данных в программу Matlab. Полученные результаты показана в таблице 3.1 и на рисунке 3.7

Таблица 3.1- Показатели температуры при изменении нагрузки

| c     | 0      | 0,1     | 0,2     | 0,3     | 0,4     | 0,5     | 0,6     | 0,7     | 0,8     | 0,9     | 1       |
|-------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| T, °C | 18.000 | 19.0684 | 19.0382 | 19.0212 | 19.0095 | 19.0007 | 18.9935 | 18.9876 | 18.9825 | 18.9780 | 18.9741 |

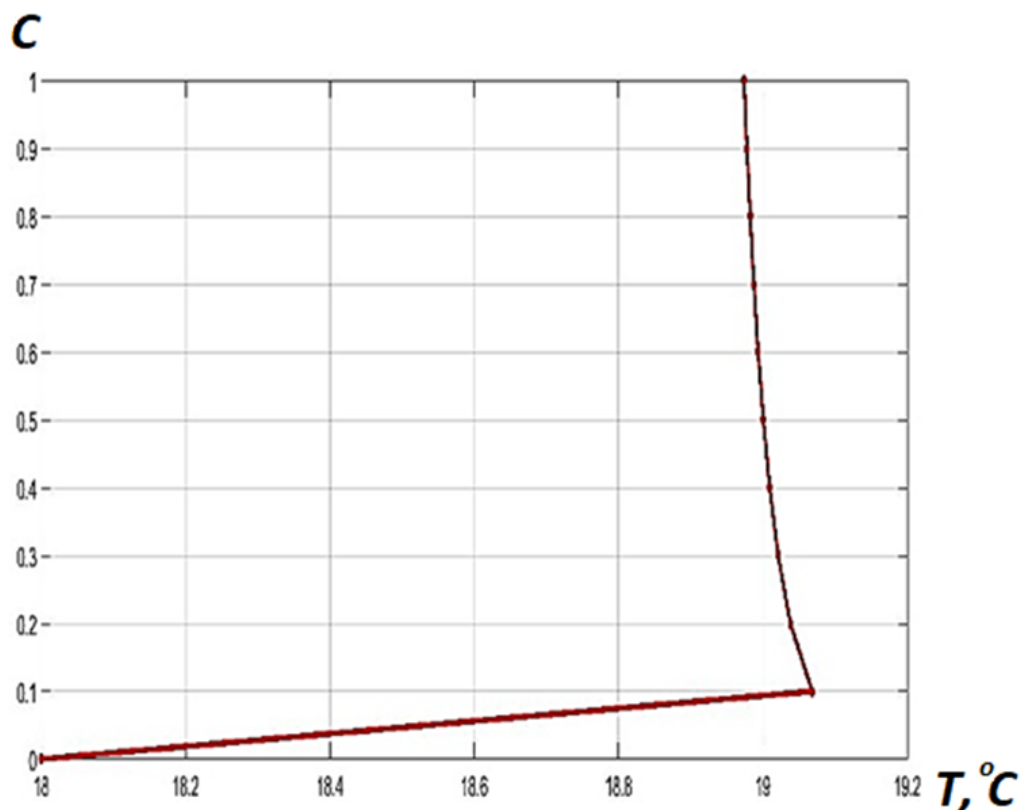


Рисунок 3.7 Изменение температуры при различных значениях внешней силы натяжения

На рисунках 3.8 - 3.11 показаны распределение температуры по объему при различных значениях внешней силы натяжения [52, 60].

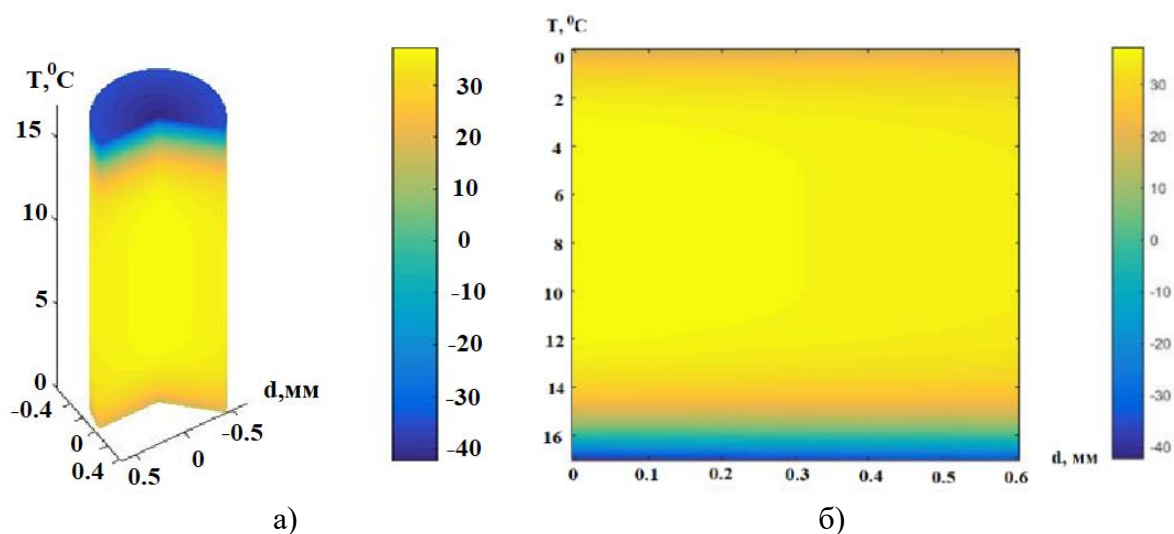


Рисунок 3.8 - Растяжение проволоки при  $s=0$ , а) распределение температуры б) Вид сверху

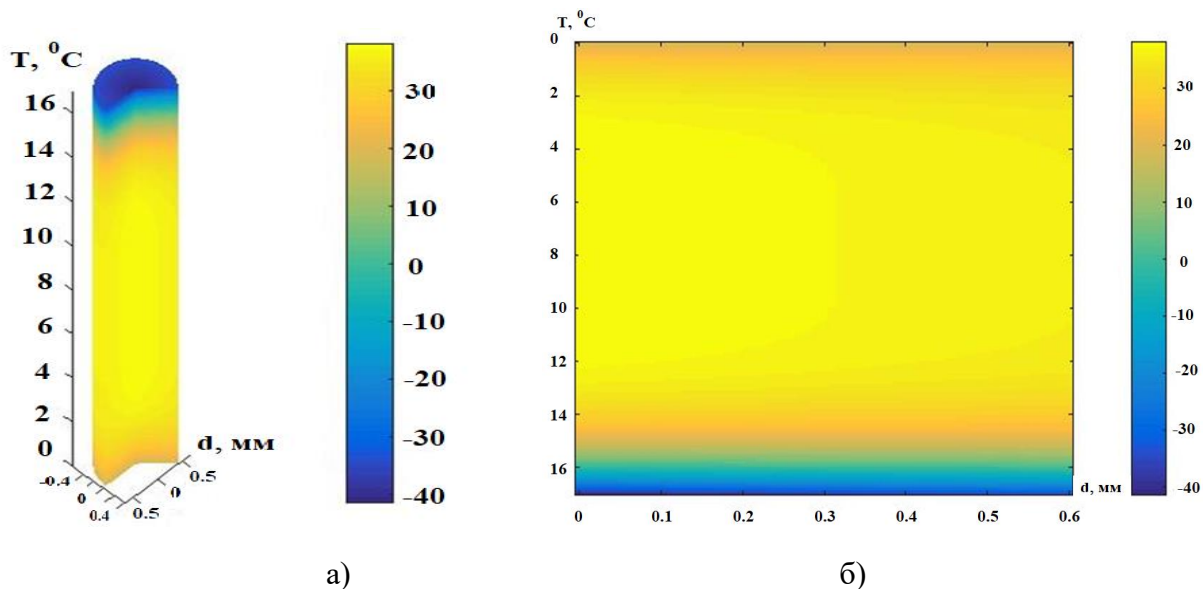


Рисунок 3.9 - Растяжение проволоки при  $s=0,4$ , а) справа распределение температуры б) Вид сверху

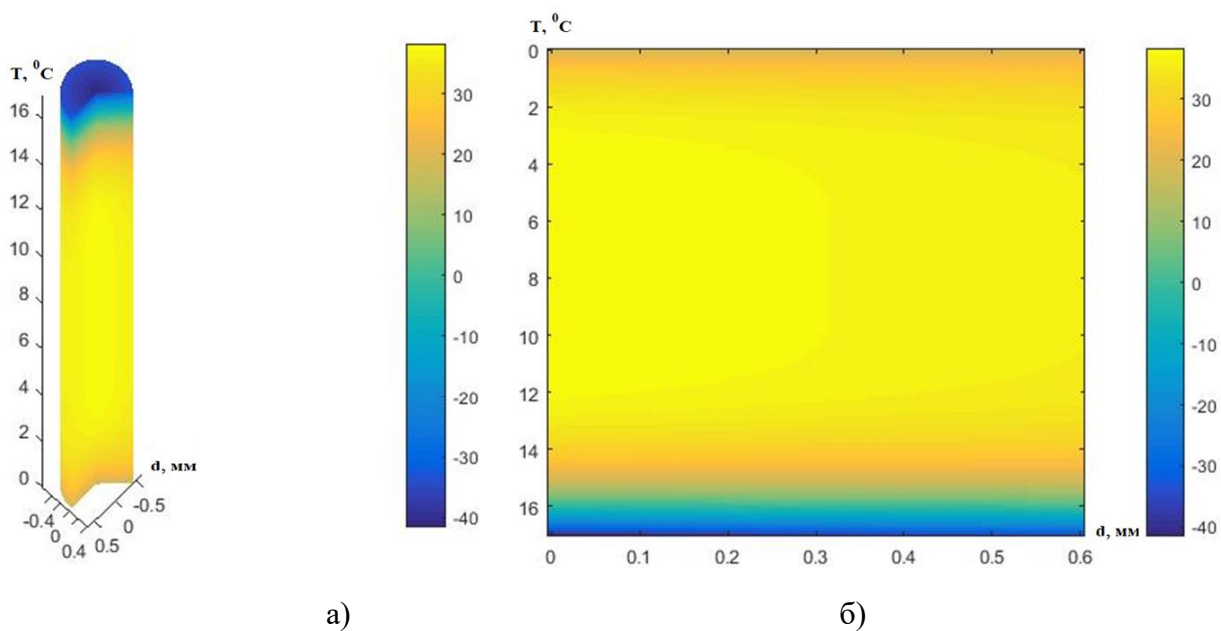


Рисунок 3.10 - Растяжение проволоки при  $c=0,8$ , а) справа распределение температуры б)

Вид сверху

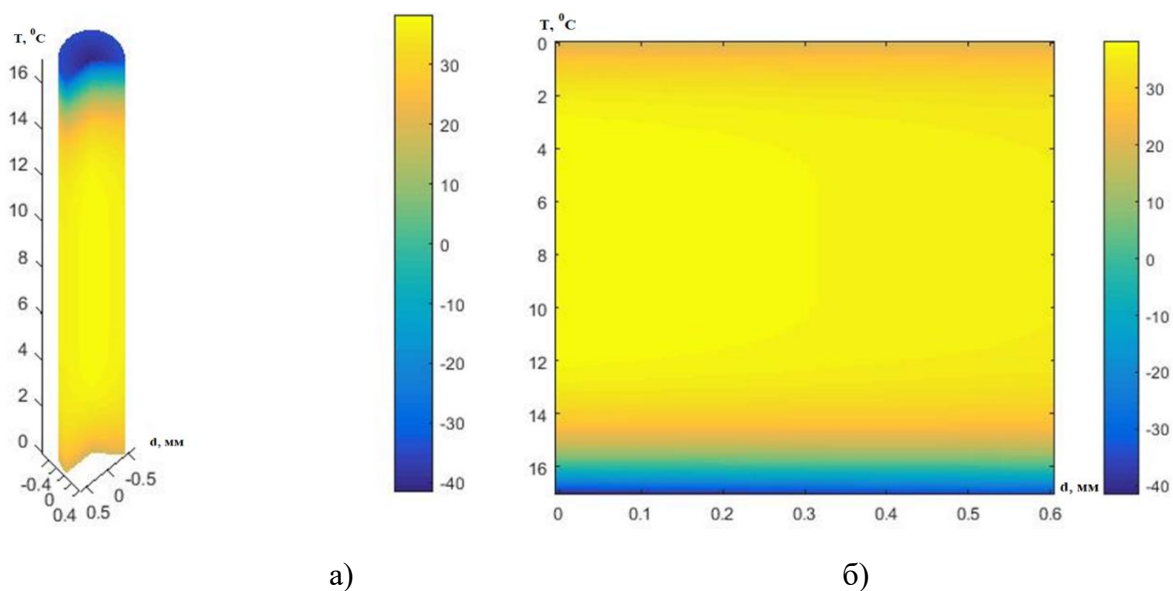


Рисунок 3.11 - Растяжение проволоки при  $c=1$ , а) справа распределение температуры б) Вид сверху

Аналогичным образом можно получить значения распределения температуры при различных значениях растягивающей силы.

### 3.3. Системы автоматического контроля на подъемной установке

Деформация каната, растянутого концевой нагрузкой в момент удара, складывается из его статической деформации и суммарной динамической

деформации кабины и жестких оснований. При этом необходимо учесть ослабление каната на длину, ввиду движения его с определенной скоростью [43].

В такой постановке задачи существенной является двухсторонняя связь между вращательным движением ротора и колебательным движением каната, которая должна быть отражена в уравнениях движения. Для этого предлагаем математическую модель подъемной установки как двухмассовую систему и схема автоматического контроля на подъемной установке [43].

Для двухмассовой системы, состоящей из масс  $m_1, m_2$  и линейных упругих связей  $c_1, c_2$  (без учета возбуждающих сил) имеет следующий вид:

$$\begin{cases} m_1 \ddot{x}_1 + c_1(x_1 - x_2) = 0 \\ m_2 \ddot{x}_2 - c_1(x_1 - x_2) + c_2 x_2 = 0 \end{cases}; \quad (3.44)$$

где  $m_1$  – клеть (кабина);  $m_2$  – масса прицепного устройства + масса каната;  $c_1$  – жесткость пружина парашюта;  $c_2$  – жесткость каната [43].

Решаем данное уравнение (3.32) с помощью численных методов для следующих данных  $c_1=10^5$  Н/м;  $c_2=10^3$  Н/м;  $m_1 = 2500$  кг;  $m_2 = 600$  кг. Т.е. заданное уравнение имеет следующий вид:

$$\begin{cases} 2.5 * 10^3 \ddot{x}_1 + 10^5(x_1 - x_2) = 0 \\ 6 * 10^2 \ddot{x}_2 - 10^5(x_1 - x_2) + 10^3 x_2 = 0 \end{cases}; \quad (3.45)$$

Для решения заданной системы, состоящей из двух дифференциальных уравнений второго порядка с двумя неизвестными  $x_1, x_2$ , представим ее в виде системы дифференциальных уравнений первого порядка с четырьмя неизвестными [43]. Для этого производим следующие замены  $\dot{x}_1 \rightarrow x_3, \dot{x}_2 \rightarrow x_4$ . Таким образом получим:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_3 \\ \dot{x}_2 = x_4 \\ \dot{x}_3 = -60(x_1 - x_2) \\ \dot{x}_4 = 250(x_1 - x_2) - 2x_2 \end{cases}; \quad (3.46)$$

Уравнение (3.32) можно сначала преобразовать к следующему виду:

$$\begin{cases} \ddot{x}_1 + \omega_1^2(x_1 - x_2) = 0 \\ \ddot{x}_2 - M\omega_1^2(x_1 - x_2) + \omega_0^2 x_2 = 0 \end{cases}; \quad (3.47)$$

где  $\omega_1^2 = \frac{c_1}{m_1}$ ,  $\omega_0^2 = \frac{c_2}{m_2}$ ,  $M = \frac{m_1}{m_2}$ .

Последующая процедура перехода к безразмерным переменным существенно зависит от того, какие именно переменные будут считаться постоянными. Если, например, принимается неизменной часть системы, включающая массу  $m_1$  и упругую связь  $c_1$  то удобно ввести безразмерное время  $\omega_1 t = \tau$  и получить уравнение:

$$\begin{cases} x_1'' + x_1 - x_2 = 0 \\ x_2'' - M(x_1 - x_2) + q^2 x_2 = 0 \end{cases}; \quad (3.48)$$

где  $q = \frac{\omega_0}{\omega_1}$ . В зависимости от вида возбуждающей силы и от того, к какой из масс она приложена, безразмерные перемещения относят или к статическому отклонению, или к эксцентриситету  $\varepsilon_0$ .

По закону Гука, упругая деформация каната под действием растягивающей силы  $P$  имеет вид [43]:

$$\lambda_1 = \frac{Pl}{EF}; \quad (3.49)$$

откуда, жесткость каната будет:

$$k_1 = \frac{EF}{l}; \quad (3.50)$$

где  $E$  — модуль упругости каната,  $\text{кг/мм}^2$ ;  $F$  — площадь сечения проволок каната,  $\text{мм}^2$ ;  $l$  — длина каната,  $\text{мм}$ .

Прогиб эквивалентной балки кабины от двух сил  $P$ , приложенных на расстояниях  $c$  от опор, в точке приложения одной из них выражается формулой:

$$\lambda_2 = \frac{Pc^2}{2EI_{\delta}} \left( L - \frac{4}{3}c \right); \quad (3.51)$$

откуда, жесткость кабины в точках приложения веса груза будет:

$$k_{кл} = \frac{2EI_{\delta}}{c^2 \left( L - \frac{4}{3}c \right)}; \quad (3.52)$$

Общая жесткость кабины, т.е. сила, вызывающая единичную деформацию двух эквивалентных балок клетки при приложении нагрузки в четырех точках, будет:

$$k_2 = \frac{8EI_{\delta}}{c^2 \left( L - \frac{4}{3}c \right)}; \quad (3.53)$$

Прогиб жесткого основания, имеющего длину  $L_{n\delta}$  и момент инерции  $I_{n\delta}$  от двух сил, приложенных несимметрично на расстоянии  $c_1$  и  $c'_1$  от опор, выражается формулами:

в сечении на расстоянии  $c_1$  от левой опоры и  $c$  от правой опоры:

$$\lambda_3' = \frac{P}{3EI_{n\delta}L_{n\delta}} \left[ c^2 c_1^2 + c'^2 c_1'^2 \left( \frac{c}{c'} + \frac{c}{2c'} - \frac{c^3}{2c'^2 c_1'} \right) \right]; \quad (3.54)$$

в сечении на расстоянии  $c'$  от правой опоры и  $c_1'$  от левой опоры:

$$\lambda_3'' = \frac{P}{3EI_{n\delta}L_{n\delta}} \left[ c'^2 c_1'^2 + c^2 c_1^2 \left( \frac{c_1'}{c_1} + \frac{c'}{2c} - \frac{c_1'^3}{2c_1^2 c} \right) \right]. \quad (3.55)$$

Средняя деформация жесткого основания

$$\lambda_{n\delta} = \frac{\lambda_3' + \lambda_3''}{2}; \quad (3.56)$$

Общая жесткость двух жестких оснований при приложении веса кабины в четырех точках будет:

$$k_3 = \frac{4P}{\lambda_{n\delta}} = \frac{8P}{\lambda_3' + \lambda_3''}. \quad (3.57)$$

Деформация каната, растянутого концевой нагрузкой  $Q_0$  в момент удара, складывается из его статической деформации  $\lambda_1 = \frac{Q_0}{k_1}$  и суммарной динамической деформации кабины и жестких оснований  $y_2$ . При этом необходимо учесть ослабление каната на длину  $v_0 t$ , ввиду движения его скоростью  $v_0$ .

Общая деформация каната при ударе кабины о жесткое основание будет равен:

$$y_1 = \frac{Q_0}{k_1} + y_2 - v_0 t. \quad (3.58)$$



Общее уравнение колебания системы, связывающее между собой внешние силы, действующие на систему и внутренние силы сопротивления деформации, будет иметь вид:

$$Q_0 - m \frac{d^2 y_2}{dt^2} - \alpha \frac{dy_2}{dt} = k_1 y_1 + k_{np} y_2; \quad (3.59)$$

где  $Q_0$  — вес концевой нагрузки, действующей на канат, состоящей из веса кабины с грузом;  $m \frac{d^2 y_2}{dt^2}$  — силы инерции, направленные против движения;  $\alpha \frac{dy_2}{dt}$  — силы сопротивления движению, направленные против движения;  $k_1 y_1$  — внутренняя сила сопротивления деформации каната;  $k_{np} y_2$  — внутренняя сила сопротивления деформации кабины и жесткого основания [42].

Подставляя в это уравнение выражение для  $y_1$  и преобразовывая, получим [61]:

$$m \frac{d^2 y_2}{dt^2} + \alpha \frac{dy_2}{dt} + (k_1 + k_{np}) y_2 = k_1 v_0 t; \quad (3.60)$$

или

$$\frac{d^2 y_2}{dt^2} + \frac{\alpha}{m} \frac{dy_2}{dt} + \frac{k_1 + k_{np}}{m} y_2 = \frac{k_1 v_0}{m} t; \quad (3.61)$$

Обозначив  $\frac{\alpha}{m} = 2b$  и  $\frac{k_1 + k_{np}}{m} = n^2$ , получим дифференциальное уравнение колебаний кабины и жестких оснований (опор) при ударе:

$$\frac{d^2 y_2}{dt^2} + 2b \frac{dy_2}{dt} + n^2 y_2 = \frac{k_1 v_0}{m} t; \quad (3.62)$$

где  $b = \frac{\alpha}{2m}$  — коэффициент затухания;  $n = \sqrt{\frac{k_1 + k_{np}}{m}}$  — частота колебаний.

Если предположить, что коэффициент затухания  $b$  мал по сравнению с частотой колебания  $n$ , то интеграл уравнения (3.62) будет иметь вид [61]:

$$y_2 = e^{-bt} \frac{v_0}{n} \left( 1 - \frac{k_1}{mn^2} \right) \sin(nt) + \frac{k_1 v_0}{m} t. \quad (3.63)$$

Первый член уравнения (3.63) представляет затухающие динамические колебания, а второй — статическое перемещение кабины, поддерживаемой канатом [43].

Уравнение (3.63), если пренебречь изменениями, связанными с возможным подскоком клетки, справедливо до тех пор, пока удлинение каната  $y_1 > 0$ .

При значении  $y_1 = 0$   $y_2$  находится из уравнения общей деформации каната при ударе кабины о жесткое основание и будет равен:

$$y_2 = -\frac{Q_0}{k_1} + v_0 t. \quad (3.64)$$

и представляет собой прямую, отсекающую на оси ординат отрезок  $\frac{Q_0}{k_1}$ .

Пересечение этой прямой с кривой колебания (формула 3.63) определяет точку, соответствующую времени  $t_0$ , при котором прекращается влияние натяжения каната и начинаются свободные колебания кабины и жесткого основания приведена на рисунке 3.12 [43].

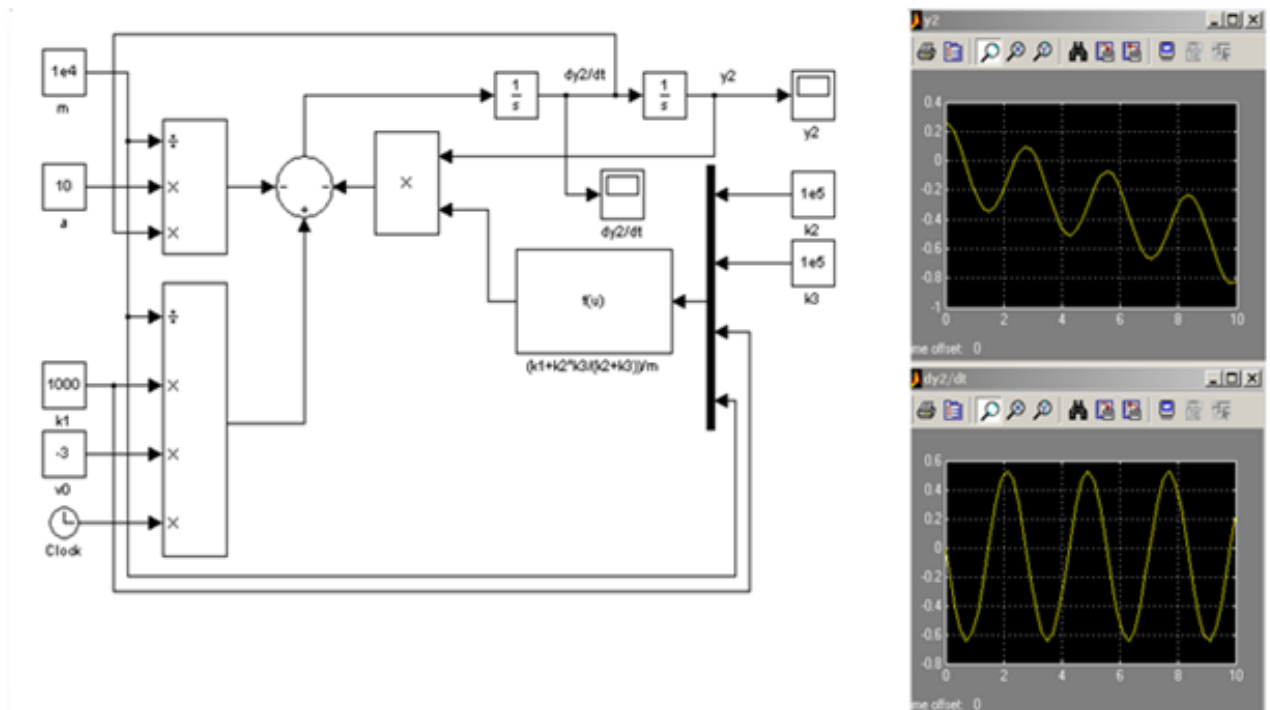


Рисунок 3.12 - Блок схема решения дифференциального уравнения (3.51) описывающего процесс посадки кабины на жесткое основание, с выводом графиков колебания кабины  $y_2$  и ее производной  $dy_2/dt$  [42]

Модель двухмассовой системы с использованием пакета прикладных программ Matlab приведена на рисунке 3.13. Блок Ground  представляет неподвижно закрепленную точку. Будем считать координату этой точки равной нулю. Блок Prismatic1  моделирует призматическое соединение, осуществляющее поступательное движение вдоль установленной оси между двумя телами, и имеющее одну степень свободы. Этот блок является соединительным примитивом. Блок Joint Sensor1  измеряет перемещение и усилие (вращающий момент) соединительного примитива. Блок Joint Actuator1  моделирует перемещение и усилие (вращающий момент) соединительного примитива. Блок Joint Initial Condition1  позволяет задавать начальные условия для системы тело  $m_1$  – пружины  $c_1$ , а блок Joint Initial Condition2  – начальные условия для системы тело  $m_2$  – пружины  $c_2$ . Для модели, изображенной на рисунке 3.13 для тела  $m_1$  начальное смещение равно 1 м, а для тела  $m_2$  – 2 м [43].

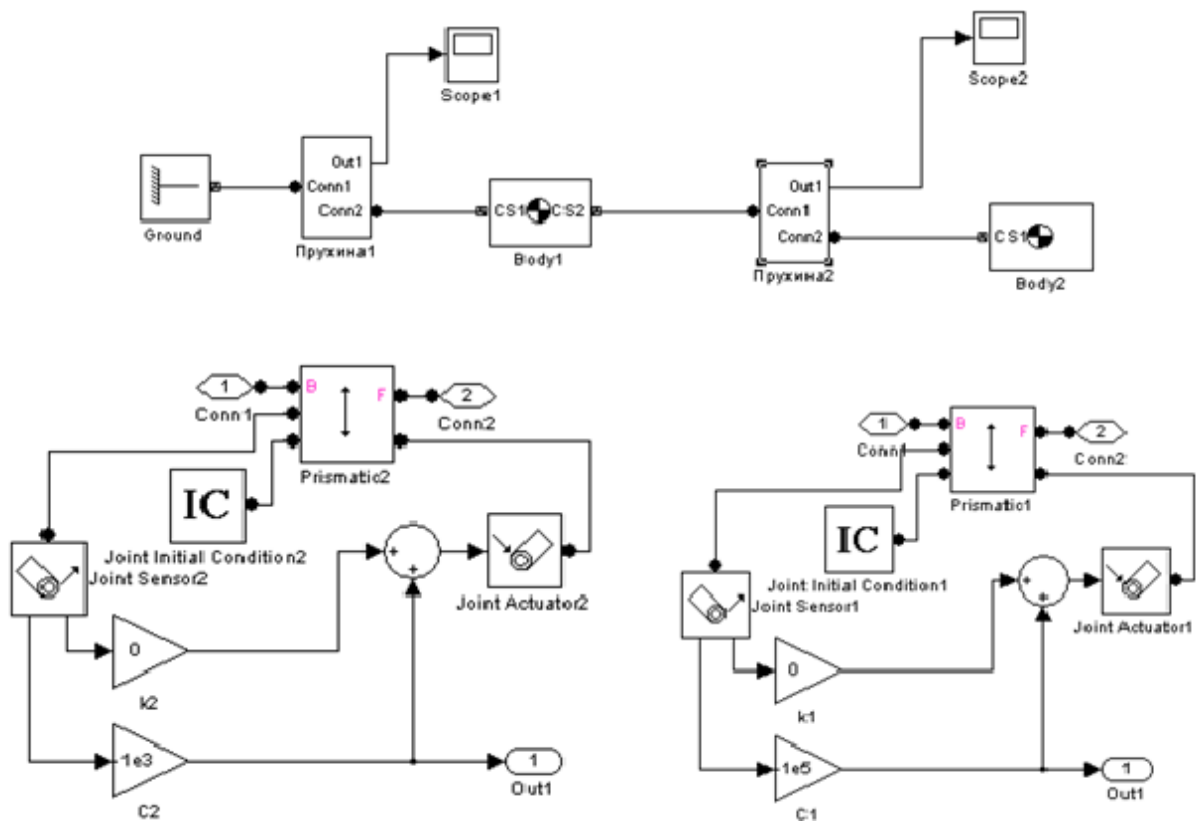


Рисунок 3.13 - Модель двухмассовой системы в среде Matlab

Усилитель  $C1$  определяет жесткость пружины  $c_1$  (Н/м), а усилитель  $C2$  – жесткость пружины  $c_2$  (Н/м), изображенных на рисунке 3.13. Усилитель  $K1$  определяет вес тела  $m_1$  (Н), а усилитель  $K2$  – вес тела  $m_2$  (Н). Блок Body1  моделирует тело  $m_1$ , а блок Body2  – тело  $m_2$ . Назначение блоков Prismatic2, Joint Sensor2, Joint Actuator2 аналогично назначению соответственно блоков Prismatic1, Joint Sensor1, Joint Actuator1.

В такой постановке задачи существенной является двухсторонняя связь между вращательным движением ротора и колебательным движением каната, которая отражена в уравнениях движения [43].

### ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 3

1. Разработана общая математическая модель динамики движения подъемной установки, описывающая силы, действующие на массу что позволило выявить зависимость между величиной нагрузки временем обрыва каната;

2. Разработан алгоритм вычисления значение времени обрыва стального каната подъемной установки в случае динамического движения и столкновения с препятствием в стволе шахты;

3. Разработан алгоритм вычисления распределения температуры по всему объему цилиндрической формы проволоки стального каната;

4. Разработана математическая модель подъемной установки, как двухмассовая система для анализа динамических колебаний при ударе подъемного сосуда о жесткое основание, уточнена формула колебаний каната и рассмотрена работа системы «канат-сосуд» при встрече с препятствием подъемного сосуда в программе Matlab.

## ГЛАВА 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАТЯЖЕНИЯ СТАЛЬНЫХ ПРОВОЛОК НЕСУЩИХ КАНАТОВ

### 4.1. Проведения измерений механического контроля натяжения опытного образца проволоки стального каната

Для проведения испытания по разрыву проволоки стального каната подъемной установки использовали разрывную машину Р-0.5 на базе учебно-научной лаборатории по сопротивлению материалов кафедры «Механика» КРСУ им. Б. Ельцина [46]. В качестве образцов взяли 3 образца проволок стальных канатов различных производителей: 1 образец (Россия); 2 образец (Украина); 3 образец (Китай) (таблица 4.1) с сертификатами качества.

Таблица 4.1 -Технические характеристики стальных канатов

| № | Вид каната     | Суммарное разрывное усилие всех проволок в канате, Н. | Характеристика                          | Производитель                                   |
|---|----------------|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------------|
| 1 | Первый образец | 106800                                                | 12 Г-В-Н-Р-1770<br>ГОСТ 3077-80:        | АО «Белорецкий металлургический комбинат Мечел» |
| 2 | Второй образец | 94410                                                 | 12,0 ГЛ-В-Н-Р-<br>1570 ГОСТ<br>3077-80  | ЧАОПО<br>«Стальканат-Силур»                     |
| 3 | Третий образец | 56000                                                 | 11 ХК05-120-<br>20001 GB 8903-<br>1988. | «TIAJIN Colik-Non<br>Steel Wire Rope Co.<br>LTD |

Перед началом измерений было проведено подготовка испытательных образцов по ГОСТ 10446-80 и ГОСТ 1497-84(ISO 6892-84). Длина образцов  $l = l_0 + 50 = 150 - 280$  мм. Скорость движения активного захвата во время испытания  $v = 10$  мм/сек [46].

На основании приведенной выше методики проведения эксперимента на лабораторной разрывной машине Р-0.5 при приведенной длине и диаметре

проволоки были определены растягивающая сила, упругое и относительное удлинения, а также механическое напряжение, которые приведены в таблице 4.1 [44].

Результаты наблюдений обрабатывались в условиях сравнения и заполнением специальных форм таблиц и с помощью компьютера по показателям записи видео, где снимались: дата проведения эксперимента, регуляторы шкалы нагрузок, переключателя указателя скорости, переключателя масштабов записи деформации оснащенной лабораторной установки [46].

Таблица 4.2 -Экспериментально измеренные данные по разрыву проволок стальных канатов

| Канаты         | $l$ , мм | $d_{до}$ , мм | $P$ , Н | $F$ , мм <sup>2</sup> | $d_{посл}$ , мм | $\Delta l$ , мм | $\varepsilon$ | $\sigma$ |
|----------------|----------|---------------|---------|-----------------------|-----------------|-----------------|---------------|----------|
| Первый образец | 170      | 0,5           | 314     | 0,1963                | 0,47            | 1,360           | 0,008         | 1599,7   |
|                | 172      | 0,5           | 353     | 0,1963                | 0,47            | 1,542           | 0,009         | 1798,3   |
|                | 170      | 0,5           | 216     | 0,1963                | 0,47            | 0,933           | 0,0055        | 1100,4   |
| Второй образец | 173      | 0,5           | 392     | 0,1963                | 0,4             | 1,727           | 0,01          | 1996,9   |
|                | 170      | 0,5           | 294     | 0,1963                | 0,3             | 1,275           | 0,0075        | 1497,7   |
|                | 171      | 0,5           | 285     | 0,1963                | 0,3             | 1,245           | 0,0073        | 1452,8   |
| Третий образец | 190      | 0,6           | 368     | 0,2827                | 0,59            | 1,238           | 0,0065        | 1301     |
|                | 180      | 0,6           | 383     | 0,2827                | 0,59            | 1,220           | 0,0068        | 1354     |
|                | 175      | 0,6           | 491     | 0,2827                | 0,59            | 1,519           | 0,0087        | 1736,5   |

Напряжение вычисляем по формуле:

$$\sigma = \frac{P}{\frac{\pi d_{\text{пров}}^2}{4}}; \quad (4.1)$$

где  $P$  – нагрузка, Н;  $d$  -диаметр проволоки, м.

Относительное удлинение вычисляем по формуле:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}; \quad (4.2)$$

где  $l$  – длина образцов, мм;  $\Delta l$  – удлинение проволоки, мм;

По результатам экспериментальных исследований определено упругое удлинение проволок стальных канатов всех образцов производителей, а также построены линейные графики (рисунок 4.1, 4.2 и 4.3).

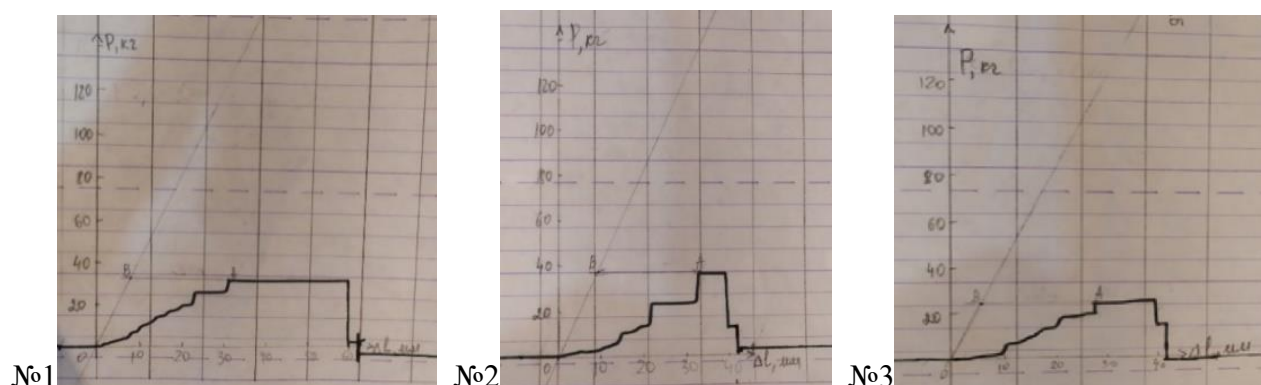


Рисунок 4.1 - Графики упругого удлинения проволок стальных канатов первого образца  $P_f(\Delta l)$

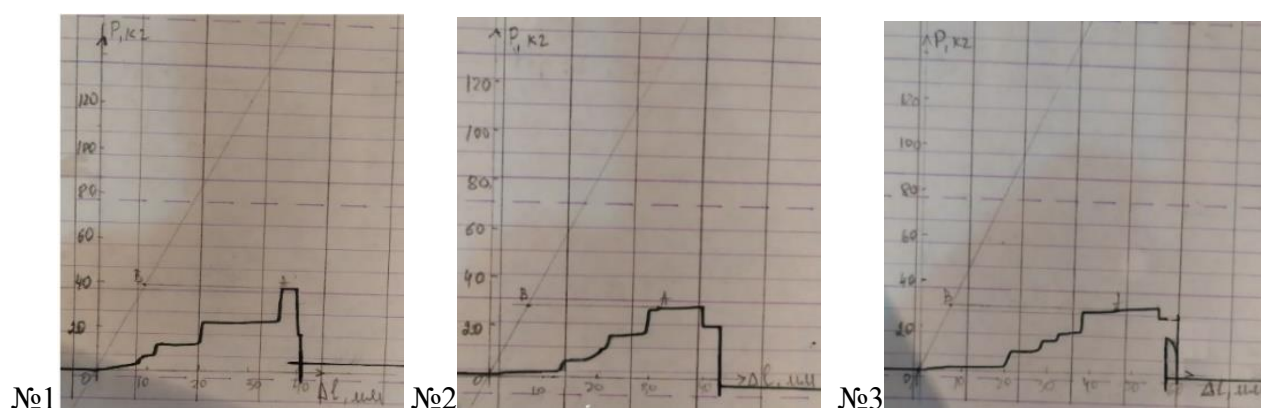


Рисунок 4.2 - Графики упругого удлинения проволок стальных канатов второго образца  $P_f(\Delta l)$

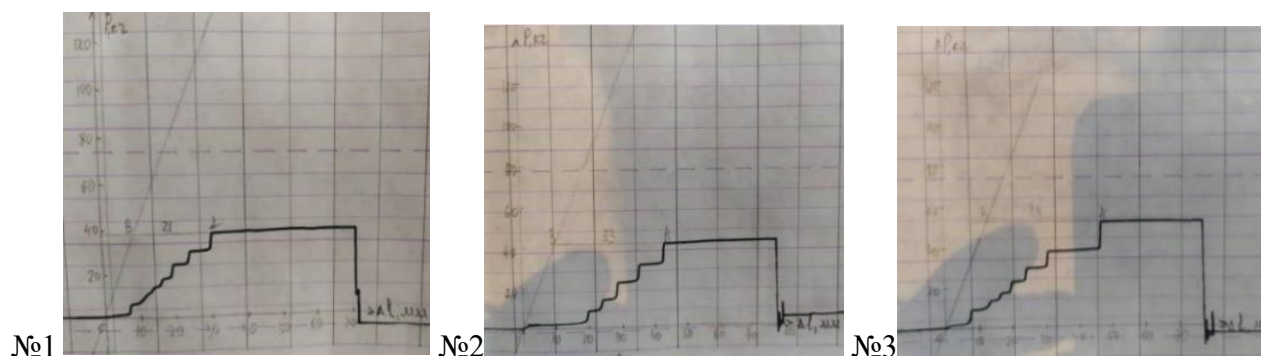


Рисунок 4.3 - Графики упругого удлинения проволок стальных канатов третьего образца  $P_f(\Delta l)$

На основании экспериментальных данных и из расчета методики проведения эксперимента для определения растягивающих сил, упругого и относительного удлинения из таблицы 4.2 и рисунка 4.1, 4.2 и 4.3 был построен

сравнительный график экспериментов по трем образцам проволок стальных канатов (рисунок 4.4).

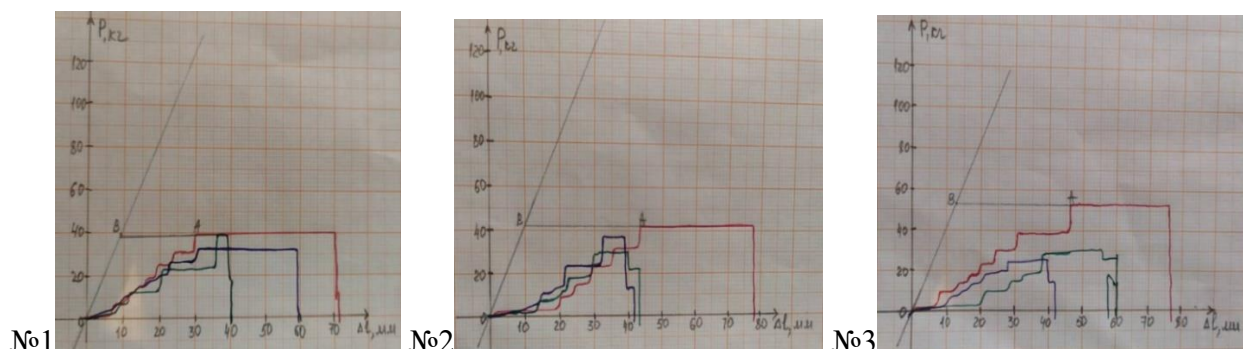


Рисунок 4.4 - Сравнительный график 3<sup>х</sup> экспериментов по трем видам канатов

-----первый образец; -----второй образец; -----третий образец.

Был проведен сравнительный анализ упругого удлинения при теоретических расчетах (см. табл. 2.1) и экспериментальных измерениях (см. табл. 4.3).

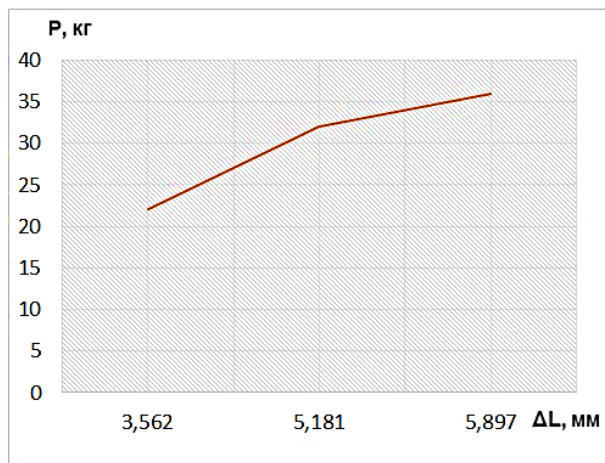
Экспериментальное измерение упругого удлинения проволоки для трех образцов проволок различных производителей с одинаковыми диаметрами приведены в таблице 4.3 и на рисунке 4.5:

Таблица 4.3 - Экспериментальное измерение упругого удлинения проволоки

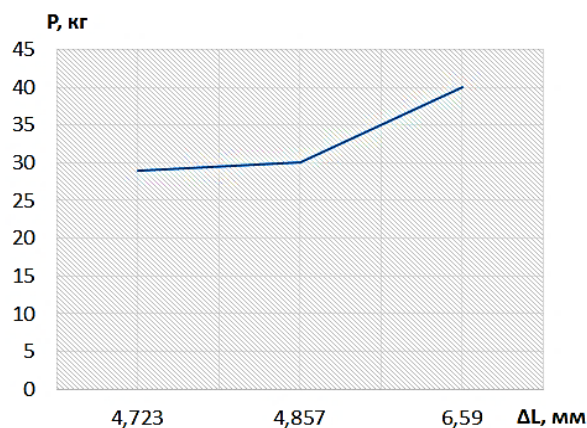
| Первый образец |          |                           |          |                                  |
|----------------|----------|---------------------------|----------|----------------------------------|
| $P$ (кг)       | $F$ (мм) | $E$ (кг/мм <sup>2</sup> ) | $L$ (мм) | $\Delta L$ (*10 <sup>-3</sup> м) |
| 22             | 0,5      | 2100000                   | 170      | 3,562                            |
| 32             | 0,5      | 2100000                   | 170      | 5,181                            |
| 36             | 0,5      | 2100000                   | 172      | 5,897                            |
| Второй образец |          |                           |          |                                  |
| 29             | 0,5      | 2100000                   | 171      | 4,723                            |
| 30             | 0,5      | 2100000                   | 170      | 4,857                            |
| 40             | 0,5      | 2100000                   | 173      | 6,59                             |
| Третий образец |          |                           |          |                                  |
| 16             | 0,45     | 2100000                   | 173      | 2,636                            |



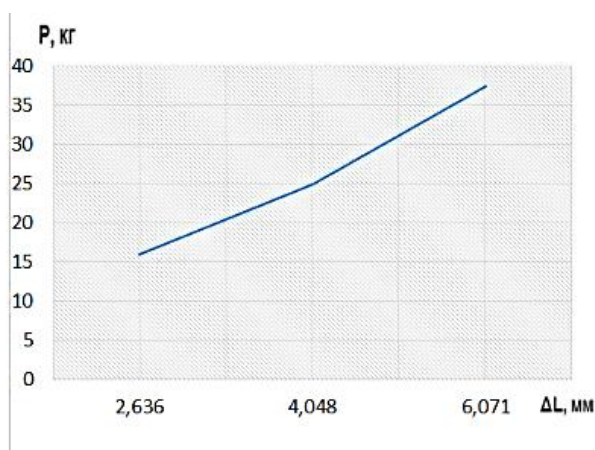
|      |      |         |     |       |
|------|------|---------|-----|-------|
| 25   | 0,45 | 2100000 | 170 | 4,048 |
| 37,5 | 0,45 | 2100000 | 170 | 6,071 |



а)



б)



в)

Рисунок 4.5 - График зависимостей упругих удлинений проволок различных производителей от растягивающей силы: а) первый ; б) второй; в) третий образцы

Анализируя линейные графики упругого удлинения проволок стальных канатов и результатов натурного исследования, можно сделать вывод о том, что у третьего образца проволоки с диаметром 0,5 мм упругое удлинение больше чем у первого и второго производства, а канаты, выполненные из проволок первого образца производства, имеют меньшее значение упругого удлинения, чем канаты второго образца производства [46].

## **4.2. Автоматическое устройство контроля натяжения стального каната подъемной установки**

Одним из основных задач диссертационного исследования заключается в повышении надежности работы несущего каната путем снижения вероятности его обрыва в случае силовой перегрузки и динамического удара.

Поставленная задача решается посредством разработки и внедрения устройства контроля натяжения каната шахтной подъемной установки (рисунок 4.6), включающее датчик натяжения каната, расположен рядом с местом подвески подъемного сосуда [2]. Также в стволе шахты проложена антенна, преобразователь сигнала и, соединенный с антенной, компаратор, который в свою очередь соединен с преобразователем сигнала. Эти устройства соединены с цепью сигнализации и с предохранительным тормозом барабана подъемной машины. В них установлены датчики контроля натяжения каната, и соединенные с ними преобразователи сигнала, подключенные ко второму компаратору. При этом, один датчик установлен на шкив копра перед набегом ветви каната, другой датчик - на сбеге ветви каната со шкива, а выход со второго компаратора подключен к одному из входов первого компаратора [2].

Устройство содержит барабан 1, соединенный через канат 2 и шкив 3 с подъемным сосудом 4. Перед шкивом 3 и за ним расположены датчики 5 и 6, контролирующие натяжение струны и вертикальной ветви каната 2. У подъемного сосуда 4 на канате 2 размещен датчик 7 контроля натяжения каната 2 (Приложение 1).

По стволу проложена петлевая антенна 8, соединенная с преобразователем 9 сигнала, выход которого подключен к компаратору 10, другой вход которого соединен с выходом компаратора 11, на другой вход которого подключен выход датчиков 5 и 6 через преобразователь 12 сигнала. Выход с компаратора 10 подключен к электроцепи сигнализации *С* и к электроцепи предохранительного тормоза *ПТ* [63].

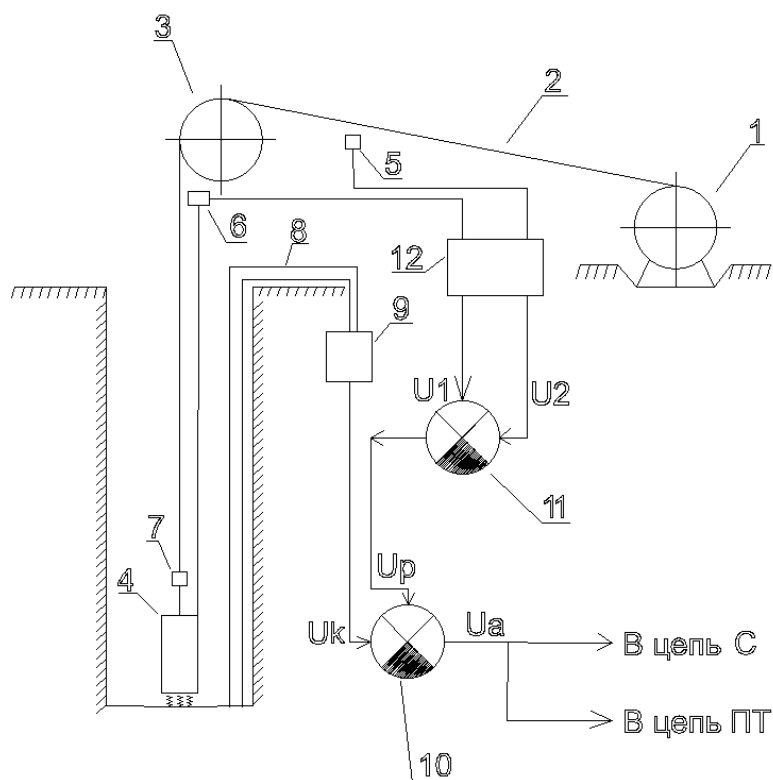


Рисунок 4.6 - Схема устройства контроля натяжения каната ШПУ1 - барабан, 2 - канат 3 - шкив, 4 - подъемный сосуд, 5,6 – датчики, контролирующие натяжение струны и вертикальной ветви каната, 7 – датчик контроля натяжения каната, 8 - петлевая антенна, 9 - преобразователь сигнала, 10, 11 - компаратор, 12 - преобразователь сигнала. С - электроцепь сигнализации, ПТ - электроцепь предохранительного тормоза

Устройство работает следующим образом. При включении привода подъемной машины (на рисунке 4.6 не показан) канат 2 натянут под действием веса сосуда 4. С датчиков 5, 6 и 7 поступают сигналы о натяжении каната 2. Сигналы поступают через преобразователи 9 и 12 на, соответственно, компараторы 10 и 11, причем сигналы  $U1$  и  $U2$  от датчиков 5 и 6 сравниваются между собой (складываются или вычитаются) и разница уровня сигнала  $U_p$  поступает на вход компаратора 10. На другой вход компаратора 10 поступает сигнал  $U_k$ , принимаемый петлевой антенной 8 от датчика 7. В компараторе 10 поступивший сигнал  $U_k$  сравнивается с сигналом  $U_p$  и по полученной разнице  $U_a$  сигналов определяется состояние натяжения каната 2. При установленной по техническим параметрам разнице  $U_a$  сигналов, канат 2 находится в эксплуатационном состоянии, а в случае отсутствия сигнала от какого-либо из

датчиков - 5го, 6го или 7го - срабатывает аварийная сигнализация (в цепь С) и предохранительный тормоз (в цепь *III*) подъемной машины [63].

Таким образом, предложенное устройство контроля натяжения каната шахтных подъемных установок позволит повысить надежность работы подъемной установки за счет увеличения числа точек контроля натяжения каната [2].

Экономический эффект от внедрение системы контроля натяжения стальных канатов в ШПУ направленное на повышение безопасности труда, продление срока службы канатов за счет равномерного распределения нагрузки, снижение затрат на аварийный ремонт и простой оборудования и оптимизацию эксплуатации шахтного подъемного оборудования, формируется за счет снижения затрат на замену канатов, уменьшения простоев и аварий, а также увеличения надежности и производительности труда. Годовой экономический эффект на основании теоретических расчетов составит 1 801 470 – 3 165 690 сом (Приложение 4).

#### **4.3. Проведение измерений по механическим свойствам стальных проволок**

В ходе проведения измерения выявилось, что у проволок третьего образца удлинение больше, чем у остальных. Этот фактор вызвал необходимость проведения химического анализа проволок всех исследованных канатов. На основании химического анализа можно выявить количественные и качественные характеристики стальных проволок, используемые на подъемных установках. Для решения данной задачи проведенная методика исследования механических свойств проволок стальных канатов дала возможность определения разности свойств и их применение в дальнейшем для автоматизации, улучшения работы и обеспечения безопасности работы подъемной установки.

Стальные канаты представляют собой гибкие компоненты, состоящие из нескольких проволок и прядей [64]. Работа каната и связанных с ним механизмов во многом зависит от правильности его конструктивного использования сообразно с условиями эксплуатации и точности расчета на прочность. Однако, несмотря на достигнутые успехи в конструировании подъемных стальных канатов и технологии их изготовления, практика эксплуатации показывает, что сроки службы подъемных канатов изменяются в больших пределах [65]. В результате постоянного использования они неизбежно деградируют. Это ухудшение часто вызвано четырьмя явлениями: усталостью, фрикционной усталостью, износом и коррозией. Эти явления могут возникать поодиночке, но почти всегда они наблюдаются в различных сочетаниях и с различной интенсивностью [66].

Основная причина, по которой химический состав стального каната должен соответствовать стандартам, заключается в том, что он оказывает существенное влияние на прочность, пластичность, хладно- или горячестойкость, механические и микроструктурные свойства [67].

Чтоб провести химический анализ могут быть использованы различные методы, такие как атомно-эмиссионно-спектральный анализ, спектрографический, спектрометрический [68], визуальный [69] и т.д.

Для анализа механических свойств стальной проволоки, эксплуатируемой в шахтной подъемной установке, были взяты 3 образца стальных проволок разных производств. Исследование была проведена на основе электронно-зондовом методе.

По ГОСТ 3241-91 «Канаты стальные. Технические условия» механические свойства стального каната должна быть в соответствии с ГОСТ 14959-16 «Металлопродукция из рессорно-пружинной нелегированной и легированной стали. Технические условия» таблица 4.4, что является показателем качества по химическому составу и длительного срока эксплуатации [70,71].

Таблица 4.4 - Химический состав стали по анализу ковшовой пробы для металлопродукции, кроме предназначенной для изготовления патентированной проволоки.

| Группа стали | Марка стали | Массовая доля элементов, % |           |           |               |         |          |        |             |
|--------------|-------------|----------------------------|-----------|-----------|---------------|---------|----------|--------|-------------|
|              |             | Углерод                    | Кремний   | Марганец  | Хром          | Ванадий | Вольфрам | Никель | Бор         |
| Углеродистая | 65          | 0,62—0,70                  | 0,17—0,37 | 0,50—0,80 | Не более 0,25 | —       | —        | —      | —           |
|              | 70          | 0,67—0,75                  | 0,17—0,37 | 0,50—0,80 | Не более 0,25 | —       | —        | —      | —           |
|              | 75          | 0,72—0,80                  | 0,17—0,37 | 0,50—0,80 | Не более 0,25 | —       | —        | —      | —           |
|              | 80          | 0,77—0,85                  | 0,17—0,37 | 0,50—0,80 | Не более 0,25 | —       | —        | —      | —           |
|              | 85          | 0,82—0,90                  | 0,17—0,37 | 0,50—0,80 | Не более 0,25 | —       | —        | —      | —           |
| Легированная | 60Г         | 0,57—0,65                  | 0,17—0,37 | 0,70—1,00 | Не более 0,25 | —       | —        | —      | —           |
|              | 65Г         | 0,62—0,70                  | 0,17—0,37 | 0,90—1,20 | Не более 0,25 | —       | —        | —      | —           |
|              | 70Г         | 0,67—0,75                  | 0,17—0,37 | 0,90—1,20 | Не более 0,25 | —       | —        | —      | —           |
|              | 55С2        | 0,52—0,60                  | 1,5—2,0   | 0,60—0,90 | Не более 0,30 | —       | —        | —      | —           |
|              | 55С2А       | 0,53—0,58                  | 1,5—2,0   | 0,60—0,90 | Не более 0,30 | —       | —        | —      | —           |
|              | 60С2        | 0,57—0,65                  | 1,5—2,0   | 0,60—0,90 | Не более 0,30 | —       | —        | —      | —           |
|              | 60С2А       | 0,58—0,63                  | 1,6—2,0   | 0,60—0,90 | Не более 0,30 | —       | —        | —      | —           |
|              | 70С3А       | 0,66—0,74                  | 2,4—2,8   | 0,60—0,90 | Не более 0,30 | —       | —        | —      | —           |
|              | 60С2Г       | 0,55—0,65                  | 1,8—2,2   | 0,70—1,00 | Не более 0,30 | —       | —        | —      | —           |
|              | 50ХГ        | 0,46—0,54                  | 0,17—0,37 | 0,70—1,00 | 0,90—1,20     | —       | —        | —      | —           |
|              | 50ХГА       | 0,47—0,52                  | 0,17—0,37 | 0,80—1,00 | 0,95—1,20     | —       | —        | —      | —           |
|              | 55ХГР       | 0,52—0,60                  | 0,17—0,37 | 0,90—1,20 | 0,90—1,20     | —       | —        | —      | 0,001—0,003 |

В ходе исследования была применена электронная микроскопия, которая представляет собой совокупность методов исследования микроструктуры твердых тел и их локального состава с использованием электронных микроскопов, способных создавать изображения исследуемых объектов с очень высоким пространственным разрешением.

Работа сканирующего электронного микроскопа основана на направлении электронного зонда на анализируемый образец. В результате взаимодействия между электронным зондом и образцом возникают низкоэнергетичные вторичные электроны, которые затем собираются детектором вторичных или отраженных электронов. Полученный сигнал от детекторов преобразуется в цифровое изображение (таблица 4.5, 4.6, 4.7). Интенсивность электрического сигнала детекторов зависит от свойств образца и его топографии в области взаимодействия. Таким образом, сканирование поверхности объекта с помощью электронного пучка позволяет получить детальную карту рельефа анализируемой области с очень высоким увеличением (рисунок 4.7, 4.8, 4.9).

Энерго-дисперсионный анализатор позволяет идентифицировать химические элементы и определять их количественное содержание в исследуемом образце. Принцип действия анализатора основан на возбуждении в образце характеристического рентгеновского спектра с помощью электронного пучка и разложения данного спектра по длинам волн посредством рентгеновского спектрометра.

Для экспериментального исследования использовался сканирующий электронный микроскоп TESCAN Vega 3 LMN, оборудованный энерго-дисперсионным рентгеновским микроанализатором Oxford X-ACT с программным обеспечением Oxford AZtec Energy.

Для исследования морфологии поверхности использовался детектор вторичных электронов (SE), обеспечивающий топографический контраст исследуемой поверхности, и детектор отражённых электронов, обеспечивающий композиционный контраст (отличие фаз).

Качественный и количественный энерго-дисперсионный химический анализ проводился в режимах сканирования Point-ID (точечное сканирование) и режиме картирования поверхности (поверхностное сканирование в пределах изображения). Сканирование участка проводилось с полированного торца образца. Полученные качественные и количественные данные по отдельным участкам образца отображены в таблицах 4.5, 4.6, 4.7 и графических данных (рисунки 4.7, 4.8, 4.9).

Таблица 4.5 - Химический состав стальной проволоки первого образца

| Название спектра | Спектр 4 | Спектр 5 | Спектр 6 |
|------------------|----------|----------|----------|
| C                | 6.08     | 4.75     | 3.96     |
| O                |          |          | 2.25     |
| Si               | 0.32     | 0.31     | 0.34     |
| P                | 0.21     | 0.21     | 0.23     |
| Ca               |          |          | 0.09     |
| Mn               | 0.54     | 0.62     | 0.59     |
| Fe               | 92.30    | 93.87    | 92.27    |
| Zn               | 0.56     | 0.23     | 0.26     |
| Сумма            | 100.00   | 100.00   | 100.00   |

## Электронное изображение 2

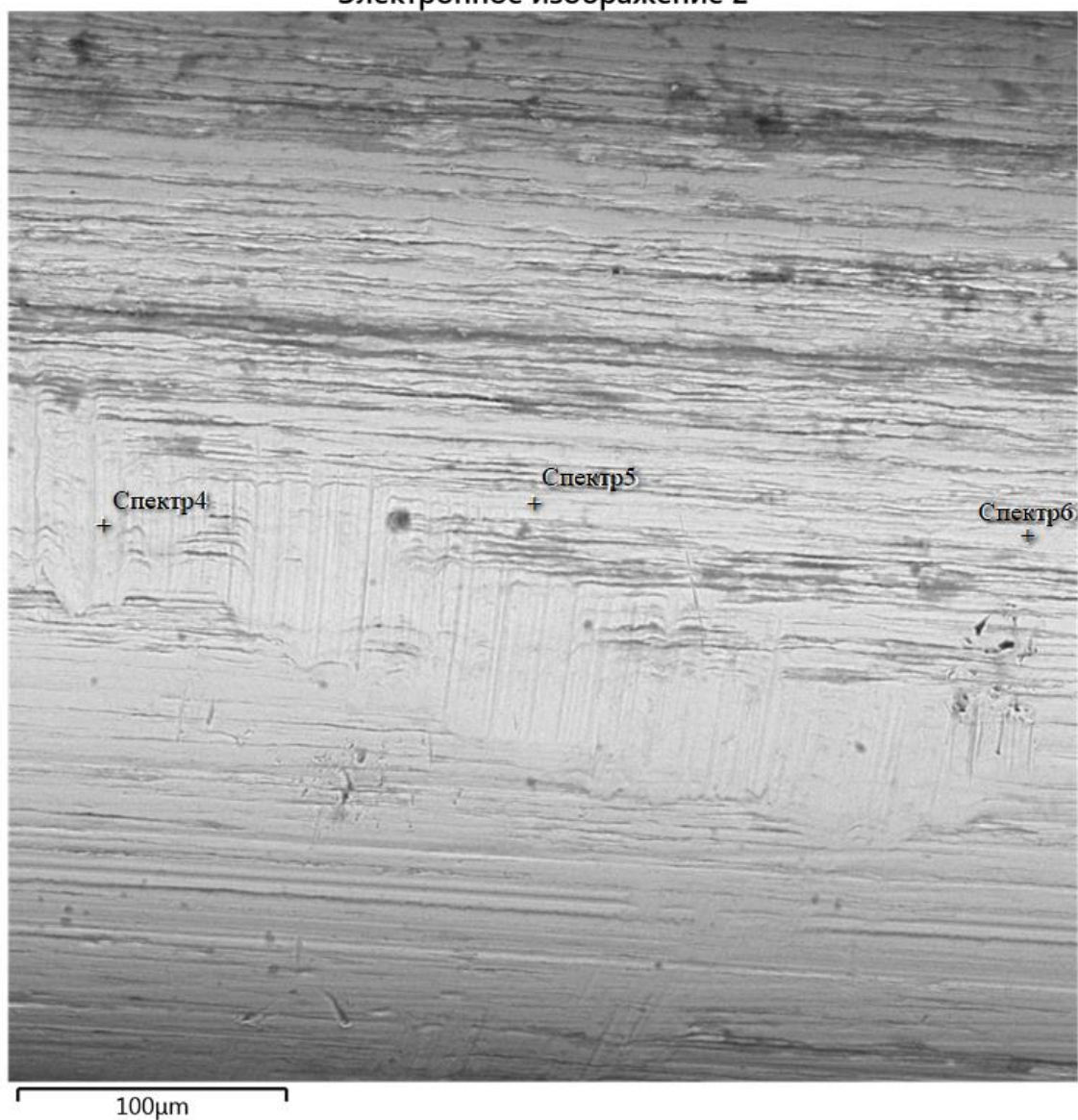


Рисунок 4.7 - Карта рельефа анализируемой области стальной проволоки первого образца

Таблица 4.6 - Химический состав стальной проволоки второго образца

| Название спектра | Спектр 1 | Спектр 2 | Спектр 3 |
|------------------|----------|----------|----------|
| C                | 4.16     | 1.44     | 1.69     |
| Si               | 0.31     | 0.24     | 0.28     |
| P                |          | 0.17     | 0.22     |
| Mn               | 0.68     | 0.64     | 0.68     |
| Fe               | 94.85    | 96.96    | 95.62    |
| Zn               |          | 0.54     | 1.50     |
| Сумма            | 100.00   | 100.00   | 100.00   |



Электронное изображение 1

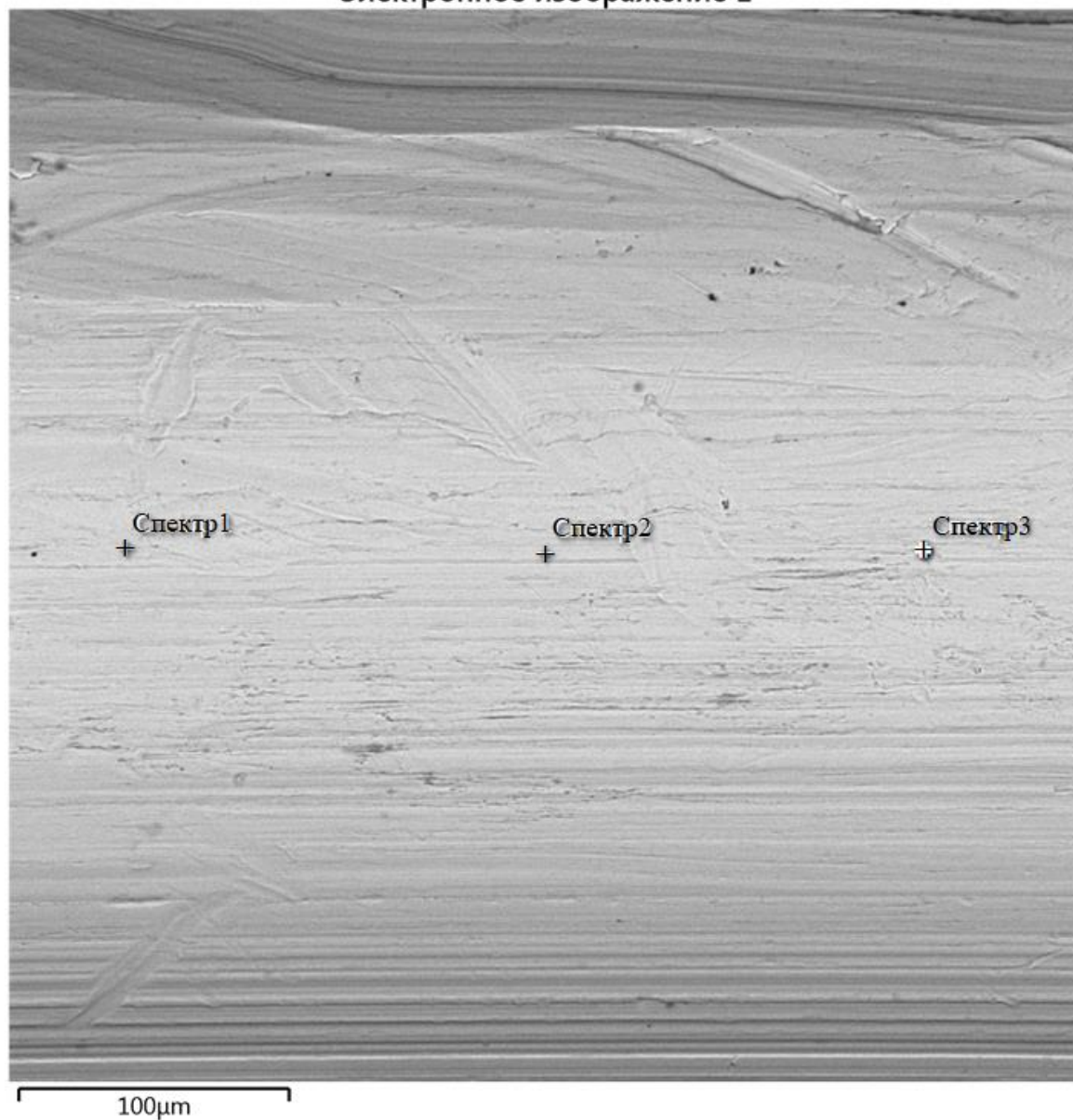


Рисунок 4.8 - Карта рельефа анализируемой области стальной проволоки второго образца

Таблица 4.7 - Химический состав стальной проволоки третьего образца

| Название спектра | Спектр 16 | Спектр 17 | Спектр 18 |
|------------------|-----------|-----------|-----------|
| C                | 22.05     | 35.47     | 15.56     |
| O                | 6.40      | 5.46      | 2.41      |
| Na               |           | 0.61      |           |
| Al               |           | 0.10      |           |
| Si               | 0.16      | 0.22      | 0.24      |
| P                | 0.14      | 0.19      | 0.15      |
| S                |           | 0.08      |           |
| Cl               |           | 0.34      |           |
| K                |           | 0.30      |           |
| Ca               | 0.70      |           |           |

|       |        |        |        |
|-------|--------|--------|--------|
| Mn    | 0.49   |        | 0.59   |
| Fe    | 69.89  | 57.04  | 80.85  |
| Zn    | 0.16   | 0.20   | 0.20   |
| Сумма | 100.00 | 100.00 | 100.00 |

Электронное изображение 6

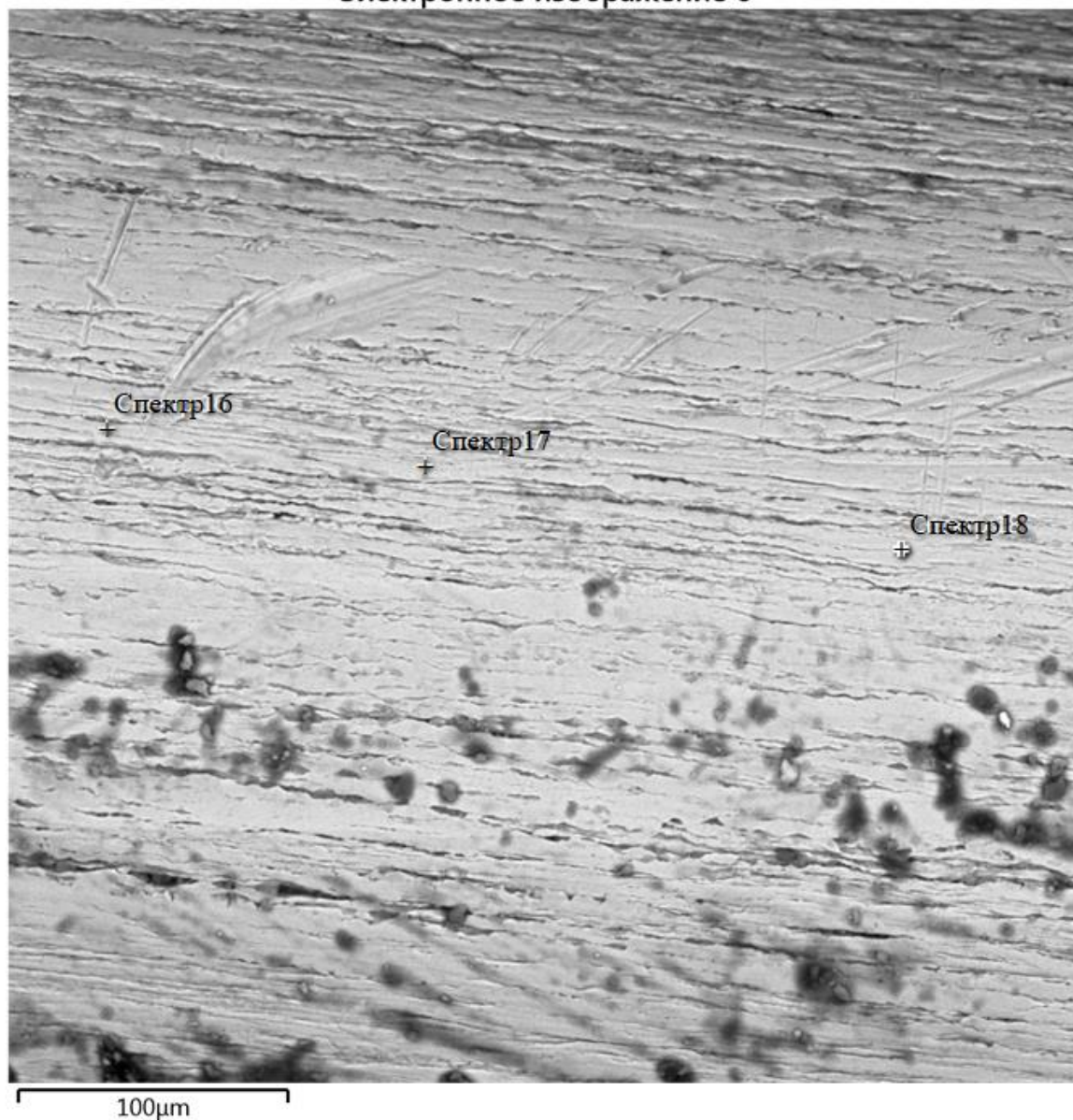


Рисунок 4.9 - Карта рельефа анализируемой области стальной проволоки третьего образца

На основании исследования выявили, что состав 3 экземпляров отличаются друг от друга. Проанализировав продольное и поперечное измерение в проволоках, выявили, что содержание железа по данным торцевого анализа у первого образца составило до 93%, а у второго до 96%. Проволоки третьего образца в количественном процентном содержании железа значительно ниже, чем первых двух. Поэтому канаты, применяемые на

шахтных подъемных установок лучше использовать первого и второго образца, а канаты третьего образца имеющие наиболее гибкость за счет большого содержания цинка, необходимо вплетать в сердечник и использовать в качестве связи при их соответствующей изоляции из лифта к машинисту.

Исходя из проведенного исследования предлагаем новый вид тягового каната. Это решается следующим образом, тяговый канат шахтной подъемной установки, включающий сердечник, пряди, сплетенных вокруг сердечника, снабжается двухжильным проводом, протянутым в сердечнике вдоль него. Провод электрически соединен другим концом с передатчиком радиосигнала, установленным на барабане подъемной машины, при этом провод и пряди выполнены из одного металла, а оболочка провода выполнена упругой.

Провод должен быть выполнен из металла, а пряди из синтетического материала с одинаковыми физико-механическими свойствами по удлинению.

Размещение закороченного в одном конце каната двухжильного провода в сердечнике по его длине, и соединение жил на другом конце каната с передатчиком радиосигнала позволяет проводить контроль силовой нагрузки каната в процессе его работы. Контроль осуществляется посредством подачи электро-сигнала через провод от передатчика радиосигнала. Под воздействием нагрузки канат деформируется и вместе с ним деформируется провод – изменяются длина и сечение жил, чем обуславливается изменение сопротивления жил и, как следствие, изменение величины электро-сигнала, что позволяет контролировать нагрузку каната. При фиксируемой величине электро-сигнала, соответствующей нагрузке на канат, превысившей допустимую, подается радиосигнал на экстренное торможение барабана подъемной машины и отключение его привода, чем снижается вероятность обрыва каната и соответственно, повышается надежность работы.

Защита провода упругой оболочкой не позволяет проводу оголяться при деформации, что сохраняет его работоспособность. Подбор материалов прядей каната и провода с одинаковыми физико-механическими параметрами по удлинению обеспечивает гарантированную работоспособность сигнального

провода отслеживать нагрузку на всём протяжении движения подъёмного сосуда в шахтном стволе. Этот фактор обеспечивает передачу реальных показателей нагрузки на канате и контролирует его состояние, чем повышается надежность и безопасность работ подъёмной установки.

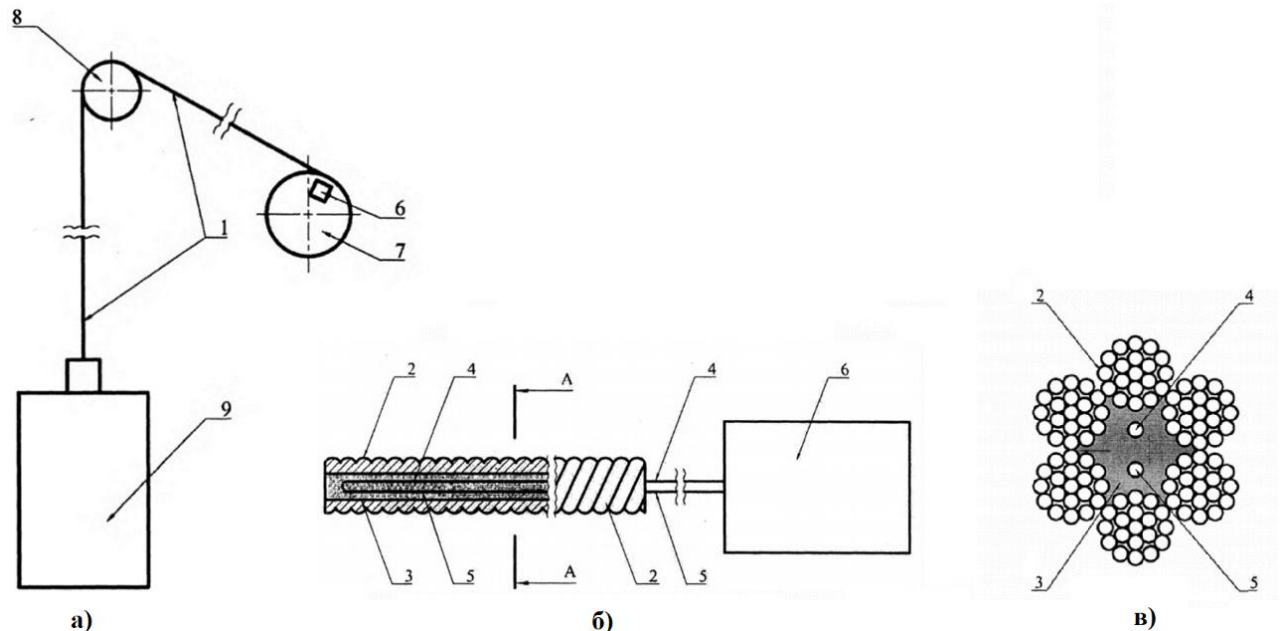


Рисунок 4.10 - Тяговый канат: а) схема расположения каната в рабочем состоянии; –б) продольный разрез каната; в) поперечный разрез каната. 1 - канат, 2 - пряди, 3-сердечник, 4,5 - электропровода, 6 - передатчик радиосигнала, 7 - барабан подъемной установки, 8 - шкив копра, 9 -клеть.

Предлагаемая конструкция тягового каната шахтной подъемной установки (рисунок 4.10) представляет собой композитную структуру. Канат 1, сформированный из прядей 2, спирально сплетенных вокруг сердечника 3, интегрирован с электропроводом 4, 5. Электропровод включает две жилы 4 и 5, которые закорочены на одном конце каната, создавая замкнутый контур. На противоположном конце каната 1 закороченный провод соединен с передатчиком радиосигнала 6, который размещен на барабане 7 подъемной установки. Канат 1 проходит через шкив копра 8 и соединяется с подъемным сосудом, например, клетью 9. Система экстренного торможения барабана 7 и отключения привода подъемной машины (на рисунке 4.10 элементы не

показаны) связана с приемником радиосигнала, который получает данные от передатчика 6.

Пряди 2 и токопроводящие жилы 4, 5 могут быть выполнены из одного металла. Допускается использование различных металлов, а также изготовление прядей 2 из синтетических материалов, при условии обеспечения идентичных физико-механических свойств прядей 2 и жил 4, 5, особенно в части деформационных характеристик.

Функционирование тягового каната в составе подъемной установки основано на принципе тензорезистивного контроля деформации в реальном времени. В процессе работы подъемной машины передатчик 6 и приемник радиосигнала активны. Передатчик 6 подает электрический сигнал по жилам 4, 5, посредством которого осуществляется автоматизированный контроль безопасности эксплуатации каната 1 (Приложение 2).

Под действием силы тяжести (клетей 9 и полезной нагрузки) канат 1 находится в состоянии рабочего натяжения, что вызывает его упругую деформацию — растяжение. Аналогичная растяжение возникает и в интегрированных жилах 4, 5 электропровода. При возникновении аварийных ситуаций, таких как застревание грузовой клетки 9 в шахтном стволе во время спуска, происходит резкое ослабление натяжения каната 1, что приводит к изменению его деформации. Соответствующее изменение деформации, укорочение или удлинение жил 4, 5 электропровода приводит к изменению их длины  $L$  и площади поперечного сечения  $S$ . Согласно закону Ома и формуле сопротивления проводника, изменение геометрических параметров жил 4, 5 обуславливает изменение их электрического сопротивления  $R$ , что, при фиксированном напряжении  $U$  от передатчика 6, вызывает изменение величины электрического тока  $I$  — основного контролируемого электро-сигнала, согласно формуле:

$$U = I * R = \frac{I * \rho * L}{S}; \quad (4.3)$$

где  $I$  - величина электрического тока,  $R$  – электрическое сопротивление проводника,  $\rho$  - удельное сопротивление проводника,  $L$  – длина проводника,  $S$  - площадь сечения жил.

Передачик 6 непрерывно фиксирует величину электро-сигнала. При регистрации значения, соответствующего превышению допустимой нагрузки на канат 1, передатчик 6 незамедлительно генерирует радиосигнал. Приемник радиосигнала, получив аварийный сигнал, активирует экстренное торможение барабана 7 и отключение привода подъемной машины. Это позволяет снизить вероятность обрыва каната (1) и, как следствие, повысить надежность работы всей системы [73, 74].

А результаты измерения уровня помех в стволе шахты показывают, что наиболее эффективными частотами для оценки натяжения каната шахтной подъемной установки необходимо применять диапазон частот  $f=20-40$  кГц, а для радиосвязи в стволе шахты применимы частоты  $f=100-450$  кГц [73].

Таким образом, применение предложенной конструкции тягового каната с интегрированным контролем деформации позволяет повысить эксплуатационную надежность подъемной установки за счет снижения риска обрыва каната в результате возникновения силовой перегрузки или динамического удара в процессе работы.

## **ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 4**

1. Рассмотрено и проанализировано техническое состояние стальных канатов, используемых в подъемных установках, путем проведения экспериментальных измерений механического контроля натяжения и разрыва проволок трех образцов на разрывной машине Р-0.5 и выявлено, что проволоки третьего образца обладают наибольшим упругим удлинением по сравнению с первым и вторым образцами.

2. Проведено исследование химического состава проволок стальных канатов с помощью электронно-зондового метода, где выявлено, что проволоки

первого и второго образцов имеют более высокое содержание железа, чем проволоки третьего образца, которые имеют большую гибкость.

3. Разработано автоматическое устройство контроля натяжения каната шахтной подъемной установки, что позволит повысить надежность работы подъемной установки.

4. Предложена новая конструкция тягового каната с интегрированным двухжильным электропроводом в сердечнике. Канат функционирует как тензорезистивный датчик, контролируя деформацию (удлинение/укорочение) и нагрузку в реальном времени.

5. Рассчитан годовой экономический эффект от внедрения системы контроля натяжения стальных канатов в ШПУ, который составит 1 801 470 – 3 165 690 сом, что подтверждает экономическую целесообразность предложенных решений.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

1. Несмотря на то, что аварии на шахтных подъёмных установках постоянно относительно редко, они могут представлять собой серьёзную опасность, поскольку приводят к тяжелым травмам и смертным случаям среди работников. Обрыв стальных тросов чаще всего происходит не в местах, где они подвергаются максимальному напряжению (например, на барабанах или шкивах), а на других участках. Это связано с процессами старения металла, которые вызывают повреждение кристаллической структуры, коррозию и накопление скрытых дефектов, таких как зародыши старения в стальных проволоках.

2. Широкий спектр методов и средств неразрушающего и механического контроля используемые для диагностики состояния материалов и конструкций, которые позволяют проводить исследование объектов, таких как стальные канаты крайне важны для обеспечения безопасности и надежности подъемной установки и других механизмов.

3. Разработан алгоритм вычисления значение натяжения и времени обрыва стального каната подъемной установки при заклинивании в стволе шахты.

4. Разработан алгоритм вычисления распределения температуры по всему объему цилиндрической формы проволоки стального каната.

5. На основе экспериментов и полученных диаграмм - растяжения определено упругое удлинение проволок стальных канатов и сравнительный анализ проволок стального каната трех образцов;

6. Полученные результаты исследования позволяют усовершенствовать процесс контроля натяжения каната путем создания нового вида тягового каната с электропроводами в качестве линии связи между клетью и подъемной машины, что позволит экстренно остановить подъемную установку в случае перенапряжения стального каната. А устройства автоматического контроля натяжения каната ШПУ позволит своевременно выявить критические перегрузки, предотвращать обрыв и увеличить срок службы



7. Экономический эффект за счет снижения простоев, уменьшения затрат на аварийный ремонт и замену канатов составит 1 801470-3165690 сом в год

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Carter, R. A. Keeping Mine Hoists Healthy [Электронный ресурс] // Engineering & Mining. – 2015, (October). – Режим доступа: <https://www.e-mj.com/features/keepingmine-hoists-healthy/>. – Загл. с экрана.
2. Таштанбаева, В. О. Устройство контроля натяжения каната шахтных подъемных установок [Текст] / В. О. Таштанбаева // Горная пром-сть. – 2020. – № 4. – С. 125–128.
3. Пахомов, П. И. Методы и технические средства повышения безопасности эксплуатации рудничных подъемов. Бишкек, 2000 [Электронный ресурс] / П. И. Пахомов. – Режим доступа: <http://www.lib.krsu.edu.kg/uploads/files/public/548.pdf>. – Загл. с экрана.
4. Горнорудная и нерудная промышленность, объекты подземного строительства [Текст] // Информационный бюл. Федер. службы по экол., технол. и атомному надзору. – 2018. – № 3. – С. 2–27. – Режим доступа: [https://ib.safety.ru/assets/pdf/Bull\\_96/bull\\_96\\_2-27.pdf](https://ib.safety.ru/assets/pdf/Bull_96/bull_96_2-27.pdf). – Загл. с экрана.
5. Федоткин, И.О. Ключевые факторы угледобычи в ведущих странах мира [Текст] / И.О. Федоткин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2025; (3). – С. 153–167.
6. Кац, А. Ш. Анализ причины обрыва головного каната наклонной подъемной установки [Электронный ресурс] / А. Ш. Кац, О. Н. Митюхин, М. А. Пасюта. – С. 104–108. – Режим доступа: [http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis\\_nbuv/cgiirbis\\_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE\\_FILE\\_DOWNLOAD=1&Image\\_file\\_name=PDF/Peoshsu\\_2012-2013\\_106-107\\_14.pdf](http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/Peoshsu_2012-2013_106-107_14.pdf). – Загл. с экрана.
7. Аварийность в горнорудной и нерудной промышленности в 1-м полугодии 2006 г. [Текст] // Информационный бюл. Федер. службы по экол., технол. и атомному надзору. – 2006. – № 4. – С. 43–51. – Режим доступа: [https://ib.safety.ru/assets/pdf/Bull\\_25/Bull\\_25\\_43-51.pdf](https://ib.safety.ru/assets/pdf/Bull_25/Bull_25_43-51.pdf). – Загл. с экрана.
8. Bates, R. M. Hoisting Accident (Double Fatality). Mine No. 2 (I.d. No. 15-09571) [Электронный ресурс] / R. M. Bates, M. V. Bartley // Excel Mining LLC, Pilgrim,

Martin County, Kentucky. Report of Investigation. August 28, 2000. – Режим доступа: <https://arlweb.msha.gov/FATALS/2000/FTL00C2324.HTM>. – Загл. с экрана.

9. Аварийность и травматизм на предприятиях и объектах, подконтрольных управлению технического надзора [Текст] // Информационный бюл. Федер. службы по экол., технол. и атомному надзору. – 2006. – № 1. – С. 2–8. – Режим доступа: [https://ib.safety.ru/assets/pdf/Bull\\_22/Bull\\_22\\_2-8.pdf](https://ib.safety.ru/assets/pdf/Bull_22/Bull_22_2-8.pdf). – Загл. с экрана.

10. Предупреждение аварий грузоподъемных кранов по причине обрыва их канатов [Текст] // Информационный бюл. Федер. службы по экол., технол. и атомному надзору. – 2004. – № 1. – С. 58–65. – Режим доступа: [https://ib.safety.ru/assets/pdf/Bull\\_10/Bull\\_10\\_58-65.pdf](https://ib.safety.ru/assets/pdf/Bull_10/Bull_10_58-65.pdf). – Загл. с экрана.

11. Kieselbach, R. Accident in a tunnel by breaking of a wire rope [Text] / R. Kieselbach, G. Piskoty // Zeitschrift fur Metallkunde. – 2001. – Vol. 92, N 8. – P. 916–923. – Режим доступа: [https://www.researchgate.net/publication/292635659\\_Accident\\_in\\_a\\_tunnel\\_by\\_breaking\\_of\\_a\\_wire\\_rope](https://www.researchgate.net/publication/292635659_Accident_in_a_tunnel_by_breaking_of_a_wire_rope). – Загл. с экрана.

12. Мирошник, М. Из-за неисправного лифта ребенок получил черепно-мозговую травму 12.04.2013 [Электронный ресурс] / М. Мирошник. – Режим доступа: [https://www.vb.kg/doc/224151\\_iz\\_zha\\_neispravnogo\\_lifta\\_rebenok\\_polychil\\_cherepno\\_mozgovuyu\\_travmu.html](https://www.vb.kg/doc/224151_iz_zha_neispravnogo_lifta_rebenok_polychil_cherepno_mozgovuyu_travmu.html). – Загл. с экрана.

13. Уралиев, М. МЧС сообщило имена погибших в шахте лифта ЦУМа 13.03.2015г. [Электронный ресурс] / М. Уралиев. – Режим доступа: [https://www.vb.kg/doc/306251\\_mchs\\_soobshilo\\_imena\\_pogibshih\\_v\\_shahte\\_lifta\\_tsuma.html](https://www.vb.kg/doc/306251_mchs_soobshilo_imena_pogibshih_v_shahte_lifta_tsuma.html). – Загл. с экрана.

14. Failure analysis of hoisting steel wire rope [Text] / P. Peterka, J. Krešák, S. Kropuch [et al.] // Engineering Failure Analysis. – 2014. – N 45. – P. 96–105. – DOI: 10.1016/j.engfailanal.2014.06.005.

15. Шамсутдинов, М. М. Обзор и анализ средств контроля натяжения стальных канатов [Текст] / М. М. Шамсутдинов, В. О. Таштанбаева // Изв. Кырг. гос. техн. ун-та им. И. Раззакова. – Бишкек, 2016. – № 1(37). – С. 61–65.
16. Фролов, А. В. Трикритическая точка разрыва волокон стального каната [Электронный ресурс] / А. В. Фролов. – Режим доступа: [www.krsu.edu.kg/vestnik/2003/v2/a11.html](http://www.krsu.edu.kg/vestnik/2003/v2/a11.html). – Загл. с экрана.
17. Russell, A. Carter Keeping Mine Hoists Healthy [Электронный ресурс] / A. Russell // Engineering & Mining Journal. – Октябрь 2015. – Режим доступа: <https://www.e-mj.com/features/keeping-mine-hoists-healthy/>. – Загл. с экрана. – (Дата обращения 16.07.2020 г.)
18. Хоменко, С. В. Роль дефектоскопии экскаваторных канатов и вантов для определения их остаточного ресурса и времени замены [Электронный ресурс] / С. В. Хоменко // Горная пром-сть. – 2011. – № 2 (96). – Режим доступа: <https://mining-media.ru/ru/article/prommat/999-rol-defektoskopii-ekskaeratornykh-kanatov-i-vantov-dlya-opredeleniya-ikh-ostatocznogo-resursa-i-vremeni-zameny>. – Загл. с экрана. – (Дата обращения 13.07.2020 г.)
19. Сухоруков, В. В. Контроль износа канатов заливочных кранов металлургических предприятий [Текст] / В. В. Сухоруков, А. Н. Воронцов, В. Ю. Волоховский // Черные металлы. – 2013. – № 10(982). – С. 56–60.
20. Талтыкин, В. С. Основные виды износа и разрушения стальных канатов, применяемых в шахтных подъемных установках [Текст] / В. С. Талтыкин // Горный информ.-аналит. бюл. – 2008. – Вып. 2. – С. 333–337. – Режим доступа: [Электронный ресурс] [http://www.giab-online.ru/files/data/2008/2/45\\_taltikin21.pdf](http://www.giab-online.ru/files/data/2008/2/45_taltikin21.pdf). – Загл. с экрана. – (Дата обращения 13.07.2020 г.)
21. Техническая информация Bridon [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docplayer.ru/254286-Bridon-tehnicheskaya-informaciya.html>. – Загл. с экрана. – (Дата обращения 6.07.2020 г.)
22. Чутчиков, П. И. Ремонт лифтов [Текст]: учеб. пособие для сред. проф.-техн. училищ / П. И. Чутчиков. – М.: Стройиздат, 1983. – 271 с.

23. Харитонов, В. А. Направления повышения эффективности производства проволоки [Текст] / В. А. Харитонов, И. В. Таранин // Черные металлы. – 2015. – № 11. – С.31–37.
24. Трифанов, Г. Д. Способы минимизации динамических нагрузок в канатах шахтных подъемных установок [Текст] / Г. Д. Трифанов, М. А. Стрелков, В. Ю. Зверев // Горный журн. – 2015. – № 8. – С. 92–95.
25. Инструкция по эксплуатации стальных канатов в шахтных стволах РД 03-439-02 [Электронный ресурс]: введ. 200-09-01: утв. постановлением Госгортехнадзора России от 12.04.02., № 19 / [отв. сост.-разраб. А. И. Субботин, В. Д. Чигрин, А. И. Перепелицин и др.]. – Режим доступа: РД 03-439-02 Инструкция по эксплуатации стальных...  
files.stroyinf.ru>Data2/1/4293854/4293854464.htm – Загл. с экрана.
26. Ограничитель натяжения канатов проходческих лебёдок ОНК-1М.У1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа:  
[http://www.sibtenzo.com/vesi/1127\\_detail.htm](http://www.sibtenzo.com/vesi/1127_detail.htm). – Загл. с экрана.
27. Сухоруков, В. В. Неразрушающий контроль стальных канатов: новые приборы [Текст] / В. В. Сухорукови // Контроль. Диагностика. – 1998. – № 1. – С. 42–45.
28. РД 10-104 – 95. Временное положение о порядке о условиях проведения модернизации лифтов В 81. Сер. 10: Документы по безопасности, надзорной и разрешительной деятельности в области надзора за подъемными сооружениями [Текст] / отв. исп.: В. С. Котельников, В. Я. Комиссаров. – М.: О-во с ограниченной ответственностью «Научно-техн. центр «Пром-ная безопасность», 2009. – Вып. 55. – 8 с.
29. Шамсутдинов, М.М. Рудничные подъемные установки (Безопасность эксплуатации) [Текст]: учебник/ М. М. Шамсутдинов. – Б.: Изд-во КРСУ, 2019. – 312 с.
30. А.с. № 889587. Устройство для контроля натяжения канатов [Текст] / М. М. Шамсутдинов, И. Н. Латыпов; Фрунзен. Политехн. ин-т. – Заявл. 15.02.08; опубл. 15.12.81, Бюл. № 46.

31. Федосеев, В. Н. Безопасная эксплуатация лифтов [Текст]: справ. пособие / В. Н. Федосеев, Г. К. Гончаров. – М.: Стройиздат, 1987. – 256 с.
32. РД 10-72 – 94. Методические указания по проведению обследования технического состояния лифтов, отработавших нормативный срок службы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: РД 10-72-94 Лифты пассажирские, больничные, грузовые...  
fkr-spb.ru>upload/iblock/13f/....pdf. – Загл. с экрана.
33. Правила безопасности производственных процессов строительства и эксплуатации подземных объектов, не связанных с добычей полезных ископаемых, а также объектов добычи полезных ископаемых подземным способом [Электронный ресурс]: утв. приказом ГКПЭиН Кырг. Респ., № 01-7/171 от 11.04.2018 г. – Режим доступа: Правила безопасности производственных процессов...  
cbd.minjust.gov.kg>51-638/edition/25864/ru. – Загл. с экрана.
34. А.с. ТР ТС..... Технический регламент «Безопасность машин и оборудования» [Текст].
35. А.с. ТР ТС..... Технический регламент «Безопасность лифтов» [Текст].
36. А.с. № 6049. Устройство и безопасная эксплуатация грузоподъемных машин и механизмов [Текст] / В.О.Таштанбаева. – Бишкек, 2024.
37. Коротков, М.М. Ультразвуковая толщинометрия [Текст]: учеб. пособие / М.М. Коротков. - Томск: Изд-во ТПУ, 2008-94с.
38. Оглезнева, Л.А. Акустические методы контроля и диагностики [Текст] /Л.А.Оглезнева, А.Н.Калининченко. - Томск: Изд-во ТПУ, 2009. – Ч. 2. - 292 с
39. Бобров, А.Л. Основы вихретокового неразрушающего контроля [Текст]: учеб. пособие / А.Л. Бобров, К.В.Власов, С.А.Бехер. - Новосибирск: Изд-во СГУПС, 2019. – 98 с.
40. Таштанбаева, В. О. К вопросу об обрыве внутренних проволок стального каната [Текст] / В. О.Таштанбаева // Машиностроение: инновационные аспекты развития: Материалы Междунар. науч.-практ. конф. – СПб., 2019. – № 2. – С. 62–65.

41. Илюшов, Н. Я. Безопасная эксплуатация подъемных систем, включающих стальные канаты [Текст] / Н. Я. Илюшов, В. О. Таштанбаева // Охрана труда и техника безопасности на пром-ных предприятиях. – 2022. – № 2. – С. 128–133.
42. Монтаж лифтов и канатных дорог [Текст] / [А. И. Обухов, Г. Н. Розенкан, Д. А. Рубинштейн и др.]; под ред. А. И. Обухова. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: Стройиздат, 1983. – 278 с.
43. Таштанбаева, В. О. Схема системы автоматического контроля на подъемной установке [Текст] / В. О. Таштанбаева // Вестн. Кырг.-Рос. Славян. ун-та. – 2021. – Т. 21, № 4. – С. 80–86.
44. Машина разрывная модели Р-0,5 [Текст]: техн. описание и инструкция по эксплуатации. Г6 2. 773. 040 ТО. – [б.г.]. – 41 с.
45. Корсуна, В. А. Руководство по ревизии, наладке и испытанию шахтных подъемных установок [Текст] / В. А. Корсуна, Г. Д. Трифанова. – 4-е изд., перераб. и доп. – Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2013. – 614 с.
46. Таштанбаева, В. О. Экспериментальные исследования процесса разрыва проволоки стального каната [Текст] / В. О. Таштанбаева, А. Ш. Сарбалиев // Изв. Кырг. гос. техн. ун-т им. И. Раззакова. – 2022. – № 61. – С. 153–158.
47. Таштанбаева, В. О. Математическое моделирование динамического движения подъемной установки в стволе шахты [Текст] / В. О. Таштанбаева, И. Козубай, М. М. Шамсутдинов // Наука и инновацион. технологии. – 2022. – № 1 (22). – С. 226–233.
48. ГОСТ 10446-80(ISO6892-84). Проволока. Метод испытания на растяжение [Текст]: введ. 01.07.1982. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2003. – 9 с.
49. Об утверждении Правил устройства и безопасной эксплуатации лифтов [Электронный ресурс]: постановление ПКР от 8 нояб. 2017 г., № 730. – Режим доступа: [cbd.minjust.gov.kg/7-1802/edition/1249119/ru](http://cbd.minjust.gov.kg/7-1802/edition/1249119/ru). – Загл. с экрана.
50. Прикладная механика [Текст]: учеб. пособие для машиностроит. спец. вузов / [В. М. Осецкий, Б. Г. Горбачев, Г. А. Доброборский и др.]. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1977. – 488 с.

51. Стааль, Дж. Энциклопедии по вопросам охраны труда и техники безопасности / Энциклопедия МОТ, 9 разд. 3-е изд. [Электронный ресурс] / Дж. Стааль. – Режим доступа: <http://base.safework.ru/iloenc>. – Загл. с экрана.
52. Таштанбаева, В. О. Численные расчеты изменения температуры каната при одноосном растяжении [Текст] / В. О. Таштанбаева, Т. С. Борукеев, И Козубай // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2022. – № 14. – С.15–20.
53. Сопротивление материалов [Текст]: учеб. пособие / В. А. Хохлов, К. Н. Цукублина, Н. А. Куприянов, Н. А. Логвинова; Нац. исслед. Том. политехн. ун-т (ТПУ), Юргин. Технол. ин-т (ЮТИ). – Томск: Изд-во Том. политехн. ун-та, 2011. – 228 с.
54. Шамсутдинов, М. М. Рудничные подъемные установки (безопасность эксплуатации) [Текст]: учеб. / М. М. Шамсутдинов. – Бишкек: Изд-во КРСУ, 2019. – 312 с.
55. Ощепков, А. Ю. Системы автоматического управления: теория, применение, моделирование в MATLAB [Текст]: учеб. пособие / А. Ю. Ощепков. – СПб.: Лань, 2013. – 208 с.
56. Таштанбаева, В. О. Исследование натяжения проволок стального каната для подъемной установки [Текст] / В. О. Таштанбаева, Ж. М. Омуров // Машиноведение. – 2021. – № 1(13). – С. 33–42.
57. Машиностроение [Текст]: энцикл. в 40 т. / под общ. ред. И. Н. Фридляндера. – М.: Машиностроение, 2001. – Т. II–3: Цветные металлы и сплавы. Композиционные металлические материалы. – 880 с.
58. Масленков, С. Б. Стали и сплавы для высоких температур [Текст]: справ. изд.: в 2-х кн. / С. Б. Масленков, Е. А. Масленкова. – М.: Металлургия, 1991. – Кн. 1. – 383 с.
59. Марочник сталей и сплавов [Текст] / [А. С. Зубченко, М. М. Колосков, Ю. В. Каширский и др.]: под ред. А. С. Зубченко. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Машиностроение, 2003. – 784 с.



60. Поршнев, С. В. Компьютерное моделирование физических систем с использованием пакета MathCAD [Текст]: учеб. пособие / С. В. Поршнев. – М.: Горячая линия- Телеком, 2015. – 320 с.
61. Федорова, З. М. Рудничные подъемные установки [Текст] / З. М. Федорова. – М.: Углетехиздат, 1958. – 542 с.
62. Ильичев, А. С. Расчетные нагрузки шахтных подъемных клетей с учетом влияния подъемных каната [Текст] / А. С. Ильичев // Изв. АН СССР, ОНТИ. – 1947. – № 12.
63. Пат. № 2163. Устройство контроля натяжения каната шахтных подъемных установок 31.07.2019 г. [Текст] / М. М. Шамсутдинов, В. О. Таштанбаева. – Бишкек: Кыргызпатент, 2019.
64. Гришко, Г. С. Теория и конструкция наземных транспортно-технологических машин. Расчет и проектирование механизмов грузоподъемных машин [Текст]: учеб. пособие / Г. С. Гришко. – Красноярск: Изд-во Сиб. федер. ун-та, 2022. – 132 с.
65. Поляков, С. В. Исследование подъемного каната с возникшими изменениями геометрических параметров и механических свойств винтовых элементов [Текст] / С. В. Поляков // Научно-техн. вестн. Брянск. Гос. ун-та. – 2019. – № 2. – С. 257–264.
66. Houda, Mouradi. Steel wire ropes failure analysis: Experimental study [Text] / Houda Mouradi, Abdellah El Barkany, Ahmed El Biyaali // Journal Engineering Failure Analysis. – 2018. – Vol. 91. – P. 234–242. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2018.04.019>. – Загл. с экрана.
67. A comparative analysis of the chemical composition and compliance level to established standards of concrete reinforcement steel rods rolled in Nigeria [Text] / Richard O. Leramo, Lawson O. Adekoya, Oluwaseun Kilanko [et al.] // Journal Heliyon. – 2022. – Vol. 8, Issue 6. – e09597. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09597>. – Загл. с экрана.

68. Об утверждении типов средств измерений [Текст] // Мир измерений. – 2014. – № 11. – С. 24–28. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22478761>. – Загл. с экрана.
69. Еникеев, М. Р., Губайдуллин И.М. Визуальный метод анализа коррозионных реакций на поверхности алюминия и стали [Электронный ресурс] / М. Р. Еникеев, И. М. Губайдуллин // Башкир. хим. журн. – 2020. – Режим доступа: <https://scholar.google.com>. – Загл. с экрана.
70. ГОСТ 3241-91. Канаты стальные. Технические условия [Текст]: изд. официал. – М.: ИПК изд-во стандартов, 1993. – 18 с.
71. ГОСТ 14959-16. «Металлопродукция из рессорно-пружинной легированной и легированной стали. Технические условия» [Текст]. – М.: Стандартинформ, 2017. – 32 с.
72. Пат. № 2221 Тяговый канат шахтной подъемной установки [Текст] / М. М. Шамсутдинов, С. Т. Степанов, В. О. Таштанбаева, В. С. Гордиенко. – Бишкек, 2020.
73. Шамсутдинов, М. М. Выбор и обоснование рабочих частот в шахтном стволе [Текст] / М. М. Шамсутдинов, В. О. Таштанбаева // Изв. Кырг. гос. техн. ун-т им. И. Раззакова. – 2018. – № 46. – С. 311–317.
74. Гордиенко, В.С. Тяговый канат шахтной подъемной установки [Текст] / В.С. Гордиенко // Современные техника и технологии в научных исследованиях: Сборник материалов XIII Междунар. конф. мол.учен. и студ.– Бишкек, 2021. – С. 320-323. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47073426>

# Приложение





КЫРГЫЗСКАЯ РЕСПУБЛИКА



КЫРГЫЗПАТЕНТ

# ПАТЕНТ

№ 2163

Название изобретения: *Устройство контроля натяжения каната шахтных подъемных установок*

Патентовладелец, страна: *Кыргызско - Российский Славянский университет (KG)*

Автор (авторы): *Шамсутдинов М. М., Таштанбаева В. О. (KG)*

Заявка № *20180055.1*

Приоритет изобретения: *08 июня 2018 года*

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений  
Кыргызской Республики: *28 июня 2019 года*

Патент под ответственность заявителя (владельца)  
на данное изобретение удостоверяет исключительное  
право патентовладельца на владение, использование,  
а также запрещение использования другими лицами  
на территории Кыргызской Республики

001745



(19) KG (11) 2163 (13) C1 (46) 31.07.2019

(51) B66B 5/12 (2019.01)

ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЛУЖБА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ  
И ИННОВАЦИЙ ПРИ ПРАВИТЕЛЬСТВЕ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

к патенту Кыргызской Республики под ответственность заявителя

(21) 20180055.1

(22) 08.06.2018

(46) 31.07.2019. Бюл. № 7

(71) (73) Кыргызско - Российский Славянский  
университет (KG)

(72) Шамсутдинов М. М., Таштанбаева В. О.  
(KG)

(56) А. с. SU № 1342856, А1, кл. B66B 5/12,  
1987

(54) Устройство контроля натяжения каната  
шахтных подъемных установок

(57) Изобретение относится к шахтным подъемным машинам и предназначено для аварийного торможения каната при зависании подъемного сосуда в стволе шахты.

Задача изобретения - повышение надежности работы подъемной установки.

Поставленная задача решается тем, что устройство контроля натяжения каната шахтных подъемных установок, включающее дат-

чик контроля натяжения каната, расположенный рядом с местом подвески подъемного сосуда на канате, антенну, проложенную по стволу шахты, преобразователь сигнала, соединенный с антенной, компаратор, соединенный с преобразователем сигнала и включенный в электроцепь аварийной сигнализации и в электроцепь предохранительного тормоза барабана подъемной машины, дополнительно оснащено двумя датчиками контроля натяжения каната, соединенного с ними вторым преобразователем сигнала, соединенного с ним вторым компаратором. При этом, один датчик установлен перед набегом ветви каната на шкив копра, другой датчик - на сбеге ветви каната со шкива, а выход со второго компаратора подключен к одному из входов компаратора.

1 н. п. ф., 1 фиг.

(19) KG (11) 2163 (13) C1 (46) 31.07.2019



3

Изобретение относится к шахтным подъемным машинам и предназначено для аварийного торможения каната при зависании подъемного сосуда в стволе шахты.

Известно устройство для контроля натяжения тягового каната, включающее магнитоуправляемый датчик контроля натяжения каната, сигнализаторы ослабления и перегрузки каната, установленные на канате и соединенные электрически с системой аварийного торможения барабана подъемной машины (Патент под ответственность заявителя KG № 1739, C1, кл. B66B 5/12, 2015).

Недостаток известного устройства заключается в том, что контроль натяжения каната проводится посредством установки устройства на канате рядом с местом соединения каната с клетью, при этом отсутствует контроль за натяжением каната при его набеге на шкив копра и сбега с него, чем, соответственно, исключается контроль работоспособности каната (ослабление, натяжение) на других его участках. Такой локальный контроль натяжения каната обуславливает снижение надежности работы подъемной установки.

Наиболее близким по своей технической сущности к заявляемому изобретению является устройство для контроля натяжения каната шахтной подъемной установки, содержащее датчик натяжения каната, приемник и передатчик сигнала, соединенные электрически между собой, приемопередатчик сигнала с блоком индикации и антенной, проложенной по стволу шахты (А. с. SU № 1342856, А1, кл. B66B 5/12, 1987).

Недостатком известного устройства является ограниченность контроля работоспособности каната одним участком его длины, обусловленная закреплением датчика натяжения каната рядом с местом соединения каната с подъемным сосудом и размещением приемника и передатчика сигнала на подъемном сосуде. Ограничением контроля работоспособности каната снижается, соответственно, надежность работы подъемной установки.

Задача изобретения - повышение надежности работы подъемной установки.

4

Поставленная задача решается тем, что устройство контроля натяжения каната шахтных подъемных установок, включающее датчик контроля натяжения каната, расположенный рядом с местом подвески подъемного сосуда на канате, антенну, проложенную по стволу шахты, преобразователь сигнала, соединенный с антенной, компаратор, соединенный с преобразователем сигнала и включенный в электроцепь аварийной сигнализации и в электроцепь предохранительного тормоза барабана подъемной машины, дополнительно оснащено двумя датчиками контроля натяжения каната, соединенного с ними вторым преобразователем сигнала, соединенным с ним вторым компаратором. При этом, один датчик установлен перед набегом ветви каната на шкив копра, другой датчик - на сбега ветви каната со шкива, а выход со второго компаратора подключен к одному из входов компаратора.

Устройство содержит барабан 1, соединенный через канат 2 и шкив 3 с подъемным сосудом 4. Перед шкивом 3 и за ним расположены датчики 5 и 6, контролирующие натяжение струны и вертикальной ветви каната 2. У подъемного сосуда 4 на канате 2 размещен датчик 7 контроля натяжения каната 2. По стволу проложена петлевая антенна 8, соединенная с преобразователем 9 сигнала, выход которого подключен к компаратору 10, другой вход которого соединен с выходом компаратора 11, на другой вход которого подключен выход датчиков 5 и 6 через преобразователь 12 сигнала. Выход с компаратора 10 подключен к электроцепи сигнализации С и к электроцепи предохранительного тормоза ПТ.

Приняты следующие обозначения:

$U_1$  - сигнал от датчика 5;

$U_2$  - сигнал от датчика 6;

$U_p$  - разность между сигналами  $U_1$  и  $U_2$ ;

$U_k$  - сигнал от преобразователя, поступивший в компаратор;

$U_a$  - разность между сигналами  $U_k$  и  $U_p$ .

Устройство работает следующим образом. При включении привода подъемной машины (на фигуре не показан) канат 2 натянут

5

под действием веса сосуда 4. С датчиков 5, 6 и 7 поступают сигналы о натяжении каната 2. Сигналы поступают через преобразователи 9 и 12 на, соответственно, компараторы 10 и 11, причем сигналы  $U_1$  и  $U_2$  от датчиков 5 и 6 сравниваются между собой (складываются или вычитаются) и разница уровня сигнала  $U_p$  поступает на вход компаратора 10. На другой вход компаратора 10 поступает сигнал  $U_n$ , принимаемый петлевой антенной 8 от датчика 7. В компараторе 10 поступивший сигнал  $U_n$  сравнивается с сигналом  $U_p$  и по полученной разнице  $U_d$  сигналов определяется состояние натяжения каната 2. При установленной по

6

техническим параметрам разнице  $U_d$  сигналов, канат 2 находится в эксплуатационном состоянии, а в случае отсутствия сигнала от какого-либо из датчиков - 5го, 6го или 7го - срабатывает аварийная сигнализация (в электроцепь С) и предохранительный тормоз (в электроцепь ПТ) подъемной машины.

Таким образом, предложенное устройство контроля натяжения каната шахтных подъемных установок позволит повысить надежность работы подъемной установки за счет увеличения числа точек контроля натяжения каната.

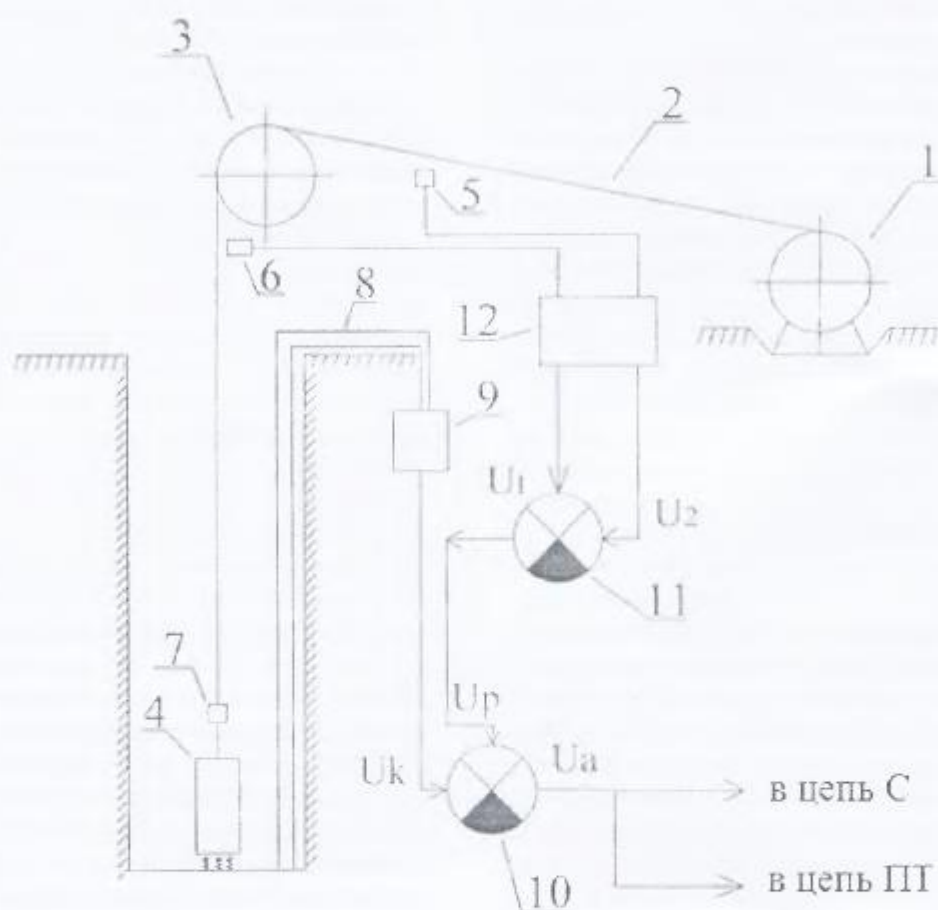
#### Формула изобретения

Устройство контроля натяжения каната шахтных подъемных установок, включающее датчик контроля натяжения каната, расположенный рядом с местом подвески подъемного сосуда на канате, антенну, продолженную по стволу шахты, преобразователь сигнала, соединенный с антенной, компаратор, соединенный с преобразователем сигнала и включенный в электроцепь аварийной сигнализации и в электроцепь предохранительного

тормоза барабана подъемной машины, отличающееся тем, что дополнительно оснащено двумя датчиками контроля натяжения каната, соединенного с ними вторым преобразователем сигнала, соединенного с ним вторым компаратором, при этом один датчик установлен перед набегом ветви каната на шкив копра, другой датчик установлен на сбеге ветви каната со шкива, а выход со второго компаратора подключен к одному из входов компаратора.



# Устройство контроля натяжения каната шахтных подъемных установок



Фиг. 1

Выпущено отделом подготовки официальных изданий

Государственная служба интеллектуальной собственности и инноваций при Правительстве Кыргызской Республики,  
720021, г. Бишкек, ул. Московская, 62, тел.: (312) 68 08 19, 68 16 41; факс: (312) 68 17 03



КЫРГЫЗСКАЯ РЕСПУБЛИКА



КЫРГЫЗПАТЕНТ

# ПАТЕНТ

под ответственность заявителя на изобретение

№ 2221

Название изобретения: *Тяговый канат шихтовой подъемной установки*

Патентовладелец, страна: *Кыргызско - Российский Славянский университет (KG)*

Автор (авторы): *Шамсутдинов М. М., Степанов С. Г.,  
Ташиганбаева В. О., Гордиенко В. С. (KG)*

Заявка № *20190090.1*

Приоритет изобретения: *12 декабря 2019 года*

Зарегистрировано в государственном реестре изобретений  
Кыргызской Республики: *30 сентября 2020 года*

Настоящий патент удостоверяет приоритет,  
авторство и исключительное право на изобретение  
в соответствии с законодательством  
Кыргызской Республики

003257





(19) **KG** (11) **2221** (13) **C1** (46) **30.10.2020**

(51) **D07B 1/16** (2020.01)

ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЛУЖБА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ  
И ИННОВАЦИЙ ПРИ ПРАВИТЕЛЬСТВЕ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

к патенту Кыргызской Республики под ответственность заявителя

(15) 30.09.2020

(21) 20190090.1

(22) 12.12.2019

(46) 30.10.2020. Бюл. № 10

(71) (73) Кыргызско - Российский Славянский  
университет (KG)

(72) Шамсутдинов М. М., Степанов С. Г.,  
Таштанбаева В. О., Гордиенко В. С. (KG)

(56) Патент RU № 186969, U1, кл. D07B 1/16,  
2019

(54) **Тяговый канат шахтной подъемной  
установки**

(57) Изобретение относится к тяговым кана-  
там, применяемым в подъемно-транспортном  
оборудовании и может быть использовано, в  
частности, как грузонесущие элементы шахт-  
ных подъемных установок.

Задача изобретения заключается в повы-  
шении надежности работы тягового каната за

счет снижения вероятности его обрыва в слу-  
чае силовой перегрузки и динамического  
удара.

Поставленная задача решается тем, что  
тяговый канат шахтной подъемной установки,  
включающий сердечник, пряди, сплетенные  
вокруг сердечника, снабжен двухжильным  
проводом, протянутым в сердечнике вдоль  
него, закороченным на конце каната и элек-  
трически соединенным другим концом с пе-  
редатчиком радиосигнала, установленным на  
барабане подъемной машины, при этом про-  
вод и пряди выполнены из одного металла, а  
оболочка провода выполнена упругой. Про-  
вод выполнен из металла, а пряди - из синте-  
тического материала с одинаковыми физико-  
механическими свойствами.

1 н. п. ф., 1 з. п. ф., 3 фиг.

(19) **KG** (11) **2221** (13) **C1** (46) **30.10.2020**



(19) KG (11) 2221 (13) C1 (46) 30.10.2020

(51) D07B 1/16 (2020.01)

ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЛУЖБА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ  
И ИННОВАЦИЙ ПРИ ПРАВИТЕЛЬСТВЕ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

к патенту Кыргызской Республики под ответственность заявителя

(15) 30.09.2020  
(21) 20190090.1  
(22) 12.12.2019  
(46) 30.10.2020. Бюл. № 10  
(71) (73) Кыргызско - Российский Славянский университет (KG)  
(72) Шамсутдинов М. М., Степанов С. Г.,  
Таштанбаева В. О., Гордиенко В. С. (KG)  
(56) Патент RU № 186969, U1, кл. D07B 1/16,  
2019  
(54) Тяговый канат шахтной подъемной  
установки  
(57) Изобретение относится к тяговым кана-  
там, применяемым в подъемно-транспортном  
оборудовании и может быть использовано, в  
частности, как грузонесущие элементы шахт-  
ных подъемных установок.

Задача изобретения заключается в повы-  
шении надежности работы тягового каната за

счет снижения вероятности его обрыва в слу-  
чае силовой перегрузки и динамического  
удара.

Поставленная задача решается тем, что  
тяговый канат шахтной подъемной установки,  
включающий сердечник, пряди, сплетенные  
вокруг сердечника, снабжен двухжильным  
проводом, протянутым в сердечнике вдоль  
него, закороченным на конце каната и элек-  
трически соединенным другим концом с пе-  
редатчиком радиосигнала, установленным на  
барабанах подъемной машины, при этом про-  
вод и пряди выполнены из одного металла, а  
оболочка провода выполнена упругой. Про-  
вод выполнен из металла, а пряди - из синте-  
тического материала с одинаковыми физико-  
механическими свойствами.

1 н. п. ф., 1 з. п. ф., 3 фиг.

(19) KG (11) 2221 (13) C1 (46) 30.10.2020

3

Изобретение относится к тяговым канатам, применяемым в подъемно-транспортном оборудовании и может быть использовано, в частности, как грузонесущие элементы шахтных подъемных установок.

Известен плоский грузоподъемный канат (Авт. свидетельство SU № 505764, А1, кл. D07B 1/22, 1976), содержащий размещенные в эластичной оболочке несущие тросы, связанные поперечными упругими пластинами, снабженными направляющими.

Недостатком известного плоского грузонесущего каната является невысокая надежность в работе, обусловленная конструктивным исполнением каната, исключающим возможность контроля его силового нагружения и возможность экстренного отключения подъемной машины при перегрузке, превышающей допустимую, что обуславливает вероятность обрыва каната. Невозможно экстренное отключение подъемной машины при ослаблении каната, превышающем допустимое, чем также снижается надежность работы за счет вероятности обрыва каната от динамического удара.

Известен тяговый канат, состоящий из грузонесущих прядей, сплетенных между собой (Патент RU № 2233925, С2, кл. D07B 1/16, 2004).

Недостаток известного тягового каната заключается в невысокой надежности работы, обусловленной тем, что конструктивное исполнение каната не позволяет контролировать его силовое нагружение и исключает возможность экстренного отключения подъемной машины в случае перегрузки выше допустимой, чем обуславливается вероятность обрыва каната. Кроме этого, исключено отключение подъемной машины при ослаблении каната выше допустимого, что обуславливает воздействие динамического удара на канат и, соответственно, вероятность его обрыва, чем снижается надежность работы.

За прототип выбран канат стальной с полимерным покрытием, включающий восемь прядей, сердечник и полимерное покрытие, заполняющее пространство между прядями и сердечником и образующее наружную оболочку каната (Патент RU № 186969, U1, кл. D07B 1/16, 2019).

4

Недостаток известного стального каната с полимерным покрытием состоит в том, что конструктивное исполнение каната исключает контроль его силового нагружения и возможность экстренного отключения подъемной машины при перегрузке каната выше допустимой, что может привести к обрыву каната и тем, соответственно, снижается надежность работы. В конструктивном исполнении каната не предусмотрено экстренное отключение подъемной машины при ослаблении каната более допустимого, чем также снижается надежность работы за счет вероятности обрыва каната при динамическом ударе.

Задача изобретения заключается в повышении надежности работы тягового каната за счет снижения вероятности его обрыва в случае силовой перегрузки и динамического удара.

Поставленная задача решается тем, что тяговый канат шахтной подъемной установки, включающий сердечник, пряди, сплетенные вокруг сердечника, снабжен двухжильным проводом, протянутым в сердечнике вдоль него, закороченным на конце каната и электрически соединенным другим концом с передатчиком радиосигнала, установленным на барабане подъемной машины, при этом провод и пряди выполнены из одного металла, а оболочка провода выполнена упругой.

Провод выполнен из металла, а пряди - из синтетического материала с одинаковыми физико-механическими свойствами.

Размещение двухжильного провода в сердечнике по его длине, закорачивание жил на конце каната и соединение жил на другом конце каната с передатчиком радиосигнала позволяет проводить контроль силовой нагрузки каната в процессе работы. Контроль осуществляется посредством подачи электро-сигнала - электротока - через провод от передатчика радиосигнала. Под воздействием нагрузки канат деформируется и вместе с ним деформируется провод - изменяются длина и сечение жил, чем обуславливается изменение сопротивления жил и, как следствие, изменение величины электросигнала, что позволяет контролировать нагрузку каната. При фиксируемой величине электросигнала, соответ-

5

ствующей нагрузке на канат, превысившей допустимую, подается радиосигнал на экстренное торможение барабана подъемной машины и отключение его привода, чем снижается вероятность обрыва каната и, соответственно, повышается надежность работы.

Выполнение оболочки провода упругой не позволяет проводу оголяться при деформации, тем сохраняя его работоспособность. Выполнением прядей и провода с одинаковыми физико-механическими свойствами обеспечивается реальное соответствие условий работы прядей и провода друг другу, т. е. состояние провода соответствует состоянию прядей при эксплуатации каната, что обеспечивает при отслеживании нагрузки получение реальных показателей состояния каната и тем повышение надежности в работе.

Тяговый канат шахтной подъемной установки представлен на чертеже, где на фиг. 1 показана схема расположения каната в рабочем состоянии; на фиг. 2 - продольный разрез каната; на фиг. 3 - поперечный разрез А-А каната на фиг. 2.

Тяговый канат шахтной подъемной установки включает канат 1, пряди 2, сплетенные вокруг сердечника 3, электропровод с двумя жилами 4, 5, расположенный в сердечнике 3 от конца и до конца каната 1. На одном конце каната 1 жилы 4, 5 соединены между собой, т. е. провод закорочен, как это показано на фиг. 2. С другого конца каната 1 провод соединен с передатчиком 6 радиосигнала (далее передатчик), размещенным на барабане 7 подъемной машины. С устройством экстренного торможения барабана 7 и отключения привода подъемной машины (на фигурах не показано) соединен приемник радиосигнала (на фигурах не показан) от передатчика 6. От барабана 7 канат 1 протянут на шкив 8 копра и соединен концом с закороченным проводом с подъемным сосудом, например, с клетью 9.

Пряди 2 и жилы 4, 5 электропровода выполнены из одного металла. Возможно изготовление из разных металлов или изготовление прядей 2 из синтетических материалов, но с одинаковыми физико-механическими свойствами прядей 2 и жил 4, 5.

Тяговый канат шахтной подъемной установки работает следующим образом.

6

Во время работы подъемной машины передатчик 6 и приемник радиосигнала включены. При этом, от передатчика 6 по жилам 4, 5 электропровода проходит электросигнал, посредством которого проводится автоматический контроль безопасности эксплуатации каната 1. Под воздействием силы тяжести клетки 9 канат 1 натянут, что обуславливает его рабочую деформацию, а также рабочую деформацию - растяжение жил 4, 5 электропровода.

При спуске-подъеме клетки 9, в случае аварийного застревания последней в шахтном стволе происходит ослабевание натяжения каната 1 при спуске и усиление натяжения при подъеме, что вызывает изменение деформации каната 1. Вместе с канатом 1 меняется деформация жил 4, 5 электропровода, т. е. они укорачиваются или удлиняются, их сечение увеличивается или уменьшается, что обуславливает изменение величины электросигнала, проходящего по проводу. Изменение величины электросигнала вызвано тем, что при фиксированном напряжении  $U$ , подаваемым от передатчика 6, величина электротока  $I$ , т. е. собственно электросигнала, зависит от длины  $L$  и площади  $S$  сечения жил 4, 5, согласно формулы:

$$U = I \cdot R = I \cdot \rho \cdot L/S,$$

где  $R$  - сопротивление проводника,  
 $\rho$  - удельное сопротивление проводника.

Величина электросигнала автоматически фиксируется передатчиком 6 и при величине, соответствующей нагрузке на канат 1, превысившей допустимую, передатчик 6 подает радиосигнал, принимаемый приемником радиосигнала, который включает экстренное торможение барабана 7 подъемной машины и отключает его привод, что позволяет снизить вероятность обрыва каната 1 и, соответственно, повысить надежность работы системы.

Таким образом, применение предложенной конструкции тягового каната позволит повысить надежность работы за счет снижения вероятности обрыва каната в случае силовой перегрузки и динамического удара, возможных при работе подъемной машины.

7

**Формула изобретения**

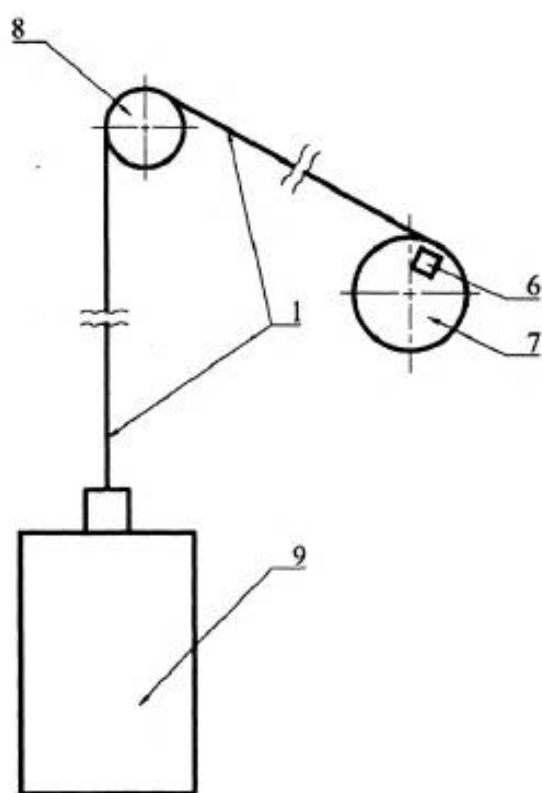
1. Тяговый канат шахтной подъемной установки, включающий сердечник, пряди, сплетенные вокруг сердечника, отличающийся тем, что снабжен двухжильным проводом, протянутым в сердечнике вдоль него, закороченным на конце каната и электрически соединенным другим концом с передатчиком радиосигнала, установленным на

8

барабане подъемной машины, при этом провод и пряди выполнены из одного металла, а оболочка провода выполнена упругой.

2. Тяговый канат шахтной подъемной установки по п. 1, отличающийся тем, что провод выполнен из металла, а пряди - из синтетического материала с одинаковыми физико-механическими свойствами.

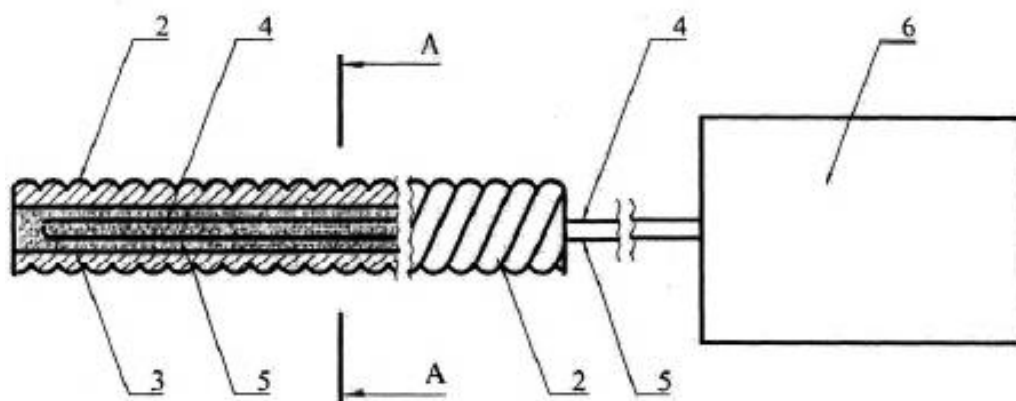
Тяговый канат шахтной подъемной установки



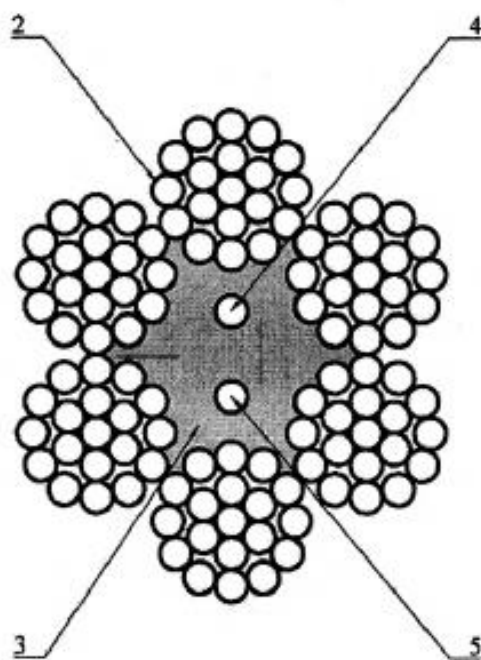
Фиг. 1



## Тяговый канат шахтной подъемной установки



Фиг. 2

A - A

Фиг. 3

Выпущено отделом подготовки официальных изданий



**Акт внедрения результатов научно-исследовательских, научно-технических работ,  
результатов научной и научно-технической деятельности**

- 1. Автор внедрения:** Таштанбаева Венера Орозбековна
- 2. Наименование научно-исследовательских, научно-технических работ, результатов научной и научно-технической деятельности:** «Разработка и реализация систем автоматического контроля натяжения несущих канатов шахтных подъемных установок»
- 3. Краткая аннотация:** к теоретическим и практическим результатам исследования относятся: установленная взаимосвязь механических свойств проволок несущих канатов шахтных подъемных установок и параметров удлинения их от разрывных усилий, разработанный метод по определению времени разрыва и температурного изменения проволок несущих канатов для обеспечения контроля бесперебойной работы шахтной подъемной установки, разработанная математическая модель автоматического контроля натяжения несущих канатов для обеспечения безопасной и бесперебойной работы шахтной подъемной установки.
- 4. Эффект от внедрения:** теоретические и практические результаты исследования внедрены в образовательную программу подготовки бакалавров по направлению 760300 «Техносферная безопасность» по профилю «Безопасность технологических процессов и производств» при изучении дисциплины «Устройство и безопасная эксплуатация грузоподъемных машин и механизмов» студентам Энергетического института Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. Внедрение позволило повысить качество обучения студентов, развить их профессиональные компетенции, получить полезные знания и умения обеспечения безопасной и бесперебойной работы грузоподъемных машин и механизмов, что также дополнительно усиливает научный потенциал учебного заведения, мотивирует и приобщает студентов к дальнейшим самостоятельным исследованиям в будущей профессии.
- 5. Место и время внедрения:** 720044, Кыргызстан, г. Бишкек, пр. Ч. Айтматова, 66. Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова. Энергетический институт. Кафедра «Техносферная безопасность».
- 6. Форма внедрения:** теоретические и практические результаты исследования внедрены как новые разделы в методические указания к лекциям и практическим занятиям, как материал для чтения проблемных вопросов по тематике НИР в учебное пособие с грифом МОиН КР, как основа для написания рефератов, проведения научно-исследовательских проектов и привлечения студентов к экспериментальной научно-исследовательской работе.

**Представитель организации,  
в которую внедрена разработка:**  
к.т.н., доцент, директор  
Энергетического института  
КГТУ им. И. Раззакова

**Представитель организации,  
из которого исходит внедрение:**  
к.т.н., доцент, заведующий кафедрой  
«Техносферная безопасность»  
КГТУ им. И. Раззакова

Р.А. Акпаралиев

Ж.М. Омуров

«Утверждаю»

Директор Высшей школы

экономики и бизнеса

к.э.н. доцент Сыдыкова Ч.К.



2025 г.

# Оценка экономического эффекта от внедрения устройства контроля натяжения стальных канатов в шахтных подъемных установках

## Теоретический расчет

### 1. Введение.

Внедрение системы контроля натяжения стальных канатов в ШПУ направлено на:

- Повышение безопасности труда (предотвращение аварий);
- Продление срока службы канатов;
- Снижение затрат на аварийный ремонт и простой оборудования;
- Оптимизацию эксплуатации шахтного подъемного оборудования.

Экономический эффект формируется за счет снижения затрат на замену канатов, уменьшения простоев и аварий, а также увеличения производительности труда.

### 2. Исходные данные

Таблица 1 - Основные исходные данные для расчета

| Параметр                                     | Обозначение   | Значение                  | Ед. изм. |
|----------------------------------------------|---------------|---------------------------|----------|
| Суммарная стоимость замены комплекта канатов | $C_{общ}$     | 5 247 000 – 10<br>494 000 | сом      |
| Нормативный срок службы каната               | $T_c$ , станд | 12                        | мес.     |



|                                                 |                      |      |                      |
|-------------------------------------------------|----------------------|------|----------------------|
| Продление срока службы (с системой)             | $\Delta T$           | 15%  | %                    |
| Фактический срок службы                         | $T_{ср\text{ факт}}$ | 13,8 | мес.<br>(12*1,15)    |
| Среднее количество канатов на шахтную установку | $N_k$                | 2    | шт.                  |
| Количество замен канатов в год до внедрения     | $K_{до}$             | 1    | раз/год              |
| Количество замен канатов после внедрения        | $K_{после}$          | 0,87 | раз/год<br>(12/13,8) |

### 3. Расчет экономического эффекта.

#### 3.1. Экономия на замене канатов.

Экономия определяется как разница между затратами на замену канатов до и после внедрения системы:

$$E_{\text{зам}} = (K_{\text{до}} - K_{\text{после}}) * C_{\text{общ}} * N_k \quad (1)$$

Подставим значения:

- $K_{\text{до}} = 1$
- $K_{\text{после}} = 0,87$
- $C_{\text{общ}} = 5\,247\,000$  сом (минимум)
- $N_k = 2$

$$E_{\text{зам}} = (1 - 0,87) * 5\,247\,000 * 2 = 0,13 * 5\,247\,000 * 2 = 1\,364\,220 \text{ сом в год}$$

Если брать верхний предел стоимости замены (10 494 000 сом):

$$E_{\text{зам}} = 0,13 * 10\,494\,000 * 2 = 2\,728\,440 \text{ сом в год}$$

Итого экономия на канатах: 1 364 220 - 2 728 440 сом/год.

#### 3.2. Снижение аварий и простоев.

Система контроля позволяет заранее выявлять критическое натяжение канатов, предотвращая аварии.

Предположим:

- Один случай аварии приводит к простоя оборудования на 1 день;

- Потери от простоя одного дня работы ШПТ: 174 900 сом;
- Количество предотвращенных аварий: 1 случай в год.

$$E_{\text{авар}} = 1 \cdot 174\,900 = 174\,900 \text{ сом/год.}$$

### 3.3. Снижение затрат на ремонт и обслуживание.

Благодаря контролю натяжения уменьшается износ механизма.

- Дополнительная экономия на ремонте механизмов: 262 350 сом/год

### 4. Общий экономический эффект.

$$E_{\text{общ}} = E_{\text{зам}} + E_{\text{авар}} + E_{\text{ремонт}} \quad (2)$$

Подставим минимальные значения:

$$E_{\text{общ}} = 5\,247\,000 + 174\,900 + 262\,350 = 5\,684\,250 \text{ сом/год.}$$

Подставим максимальные значения:

$$E_{\text{общ}} = 10\,494\,000 + 174\,900 + 262\,350 = 10\,931\,250 \text{ сом/год.}$$

Рассмотрим экономический эффект по годам. Рассчитали экономию на замене канатов, снижении простоев и ремонте, а также общий эффект на срок, например, 5 лет.

Таблица 2 - Экономический эффект за 5 лет

| Год                   | Замена канатов (сом)          | Снижение простоев (сом) | Экономия на ремонте (сом) | Общий экономический эффект (сом) |
|-----------------------|-------------------------------|-------------------------|---------------------------|----------------------------------|
| 1                     | 1 364 220 – 2 728 440         | 174 900                 | 262 350                   | 1 801 470 – 3 165 690            |
| 2                     | 1 364 220 – 2 728 440         | 174 900                 | 262 350                   | 1 801 470 – 3 165 690            |
| 3                     | 1 364 220 – 2 728 440         | 174 900                 | 262 350                   | 1 801 470 – 3 165 690            |
| 4                     | 1 364 220 – 2 728 440         | 174 900                 | 262 350                   | 1 801 470 – 3 165 690            |
| 5                     | 1 364 220 – 2 728 440         | 174 900                 | 262 350                   | 1 801 470 – 3 165 690            |
| <b>Итого за 5 лет</b> | <b>6 821 100 – 13 642 200</b> | <b>874500</b>           | <b>1 311 750</b>          | <b>9 007 350 – 15 828 450</b>    |

Примечание: Расчет произведен на минимальных и максимальных значениях стоимости замены канатов.

По итогам расчетов составим график общего экономического эффекта за 5 лет.



Рисунок 1 - Общий экономический эффект за 5 лет

## 5. Вывод.

1) Экономическая эффективность внедрения системы контроля натяжения канатов.

Проведенные расчеты показывают, что внедрение устройства контроля натяжения стальных канатов приводит к существенной экономии на замене канатов. В частности, экономия составляет от 1 364 220 до 2 728 440 сом в год на одной шахтной подъемной установке, что подтверждает высокую финансовую эффективность внедрения системы. С учетом пятилетнего горизонта планирования, суммарная экономия на замене канатов достигает 6 821 100 – 13 642 200 сом, что составляет значительную часть расходов на эксплуатацию оборудования.

2) Снижение аварий и простоев оборудования.



Система позволяет своевременно выявлять критическое натяжение канатов и предотвращать аварийные ситуации, что снижает вероятность простоев оборудования. Согласно расчетам, предотвращение хотя бы одной аварии в год приводит к экономии около 174 900 сом. Данный показатель подчеркивает важность профилактического контроля, который не только сокращает прямые финансовые потери, но и повышает надежность работы шахтных подъемных установок.

### 3) Сокращение затрат на ремонт и обслуживание.

Контроль натяжения канатов снижает износ механизма и уменьшает частоту внеплановых ремонтов, обеспечивая дополнительную экономию порядка 262350 сом в год. Это подтверждает, что внедрение системы способствует оптимизации эксплуатационных расходов и увеличению долговечности оборудования.

### 4) Комплексный экономический эффект.

Общий экономический эффект внедрения устройства на одной шахтной установке составляет 1 801 470 – 3 165 690 сом в год. За пятилетний период суммарная экономия достигает 9 007 350 – 15 828 450 сом, что демонстрирует значимость инвестиций в профилактическое оборудование. Данные результаты подтверждают, что даже при минимальных оценках эффект остается существенным и оправдывает затраты на внедрение и обслуживание системы.

### 5) Нематериальные и социальные эффекты.

Помимо прямых экономических выгод, внедрение устройства способствует повышению безопасности труда, снижению риска аварий и травматизма среди работников шахт. Эти эффекты сложно выразить в денежном эквиваленте, однако они критически важны для устойчивого функционирования шахтной отрасли и соответствия требованиям охраны труда. Кроме того, надежная работа подъемных установок улучшает производственные показатели и снижает возможные юридические и репутационные риски для предприятия.

### Заключение.

Анализ экономического эффекта подтверждает целесообразность внедрения устройства контроля натяжения стальных канатов. Система обеспечивает как прямую финансовую выгоду за счет экономии на замене канатов и снижении простоев, так и косвенные положительные эффекты в виде повышения безопасности, надежности и долговечности оборудования.

Таким образом, инвестиции в данное устройство являются эффективными с точки зрения экономической целесообразности и промышленной безопасности.

Подтверждается, что представленный расчет экономического эффекта от внедрения устройства контроля натяжения стальных канатов в шахтных подъемных установках является корректным и соответствует методологическим требованиям, предъявляемым к подобным технико-экономическим обоснованиям. Проведенные вычисления опираются на актуальных исходных данных, принятых нормативах и общепринятых подходах к оценке эффективности технических решений, что позволяет считать полученные результаты обоснованными и достоверными.

### Эксперты,

д.э.н., проф.,  
зав. каф. ЭУП КГТУ



Сулайманова Б.Ж.

доктор философии (PhD),  
доцент каф. ЭУП



Тохтыева З.Х.

доктор философии (PhD),  
доцент каф. ЭУП



Курбанова И.Х.

