

**Институт машиноведения, автоматики и геомеханики Национальной
академии наук Кыргызской Республики**

**Кыргызский государственный технический университет
им. И. Раззакова**

Диссертационный совет Д 05.24.703

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

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Бишкек 2025

Диссертационная работа выполнена на кафедре «Техносферная безопасность» Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова и в лаборатории кафедры «Механика» Кыргызско-Российского славянского университета им. Б. Ельцина.

Научный руководитель: Шамсутдинов Марат Мубарьякшаевич, доктор технических наук, профессор. кафедры «Природные процессы горного производства» КРСУ им. Б. Ельцина

Официальные оппоненты:

Ведущая организация:

Защита состоится в ____ часов _____ 2025 года на заседании диссертационного совета Д 05.24.703 по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата технических наук при Институте машиноведения, автоматики и геомеханики Национальной академии наук Кыргызской Республики Кыргызском Государственном техническом университете им. И. Раззакова Министерства образования и науки Кыргызской Республики по адресу: 720055, г. Бишкек, ул. Скрябина, 23. Идентификационный код онлайн трансляции защиты [\(ссылка на трансляцию\)](#).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеках организаций, при которых создан диссертационный совет и на сайте [_____](#)

Автореферат разослан «__» _____ 2025 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
Д.05.24.703, к.т.н., с.н.с

Эликбаев К.Т.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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 подъемной 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 [2, 10, 11, 12] Шамсутдинову М.М. принадлежит постановка задачи исследования и помощь в выборе измерительной аппаратуры и техническая поддержка экспериментальных исследований.

В работах [7, 8] 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 результатов исследований. 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, в том числе 2 - в

зарубежных изданиях входящих в базу РИНЦ, 1 – в издании входящий в базу Scopus, 4 – единые, из них с IF>0.1 – 5, 2 патента на изобретение, 1 авторское свидетельство.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения. Содержит 136 страниц машинописного текста, включающего 11 таблиц, 33 рисунка, и библиографический список из 74 наименований и 4 приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дана общая характеристика работы, обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, изложены основные положения, выносимые на защиту, отражена научная новизна и направления практической реализации результатов исследования.

В первой главе проведен анализ систем контроля шахтных подъемных установок как область создания средств технической диагностики подъемных установок различного назначения.

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

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

Показатели аварийности и травматизма при добычи полезных ископаемых в период с 2001 по 2013 г. отражены в таблице 1.

Таблица 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). При сравнении показателей

травматизма при добычи полезных ископаемых за 2013-2023 гг. можно увидеть в таблице 2.

Таблица 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

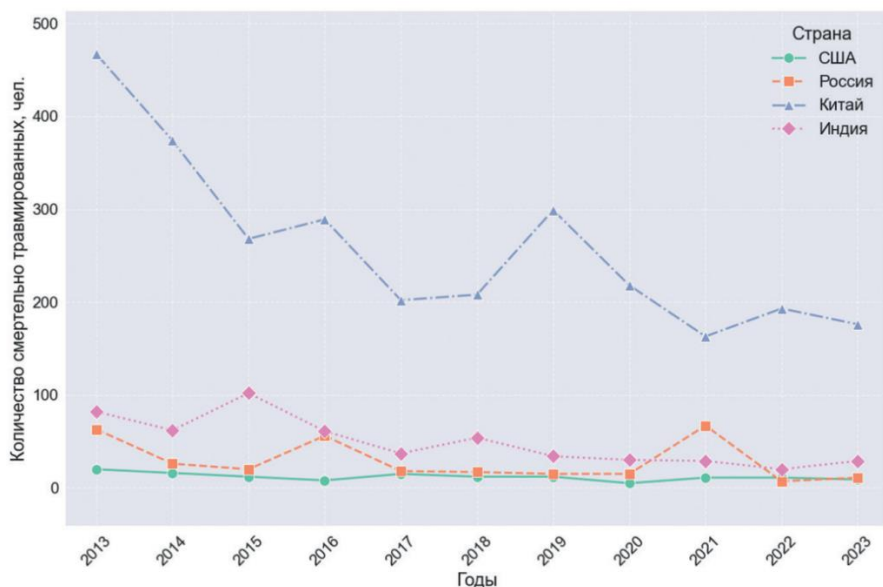


Рисунок 1 - Динамика количества смертельно травмированных при добыче полезного ископаемого по странам в 2013—2023 гг.

При авариях на подъемных установках, где 50% несчастных случаев связано с грузо-людскими подъемами и 45% – с бадьевыми.

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. Также длительное воздействие негативных факторов на стальные канаты приводит к появлению различных дефектов 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 2).

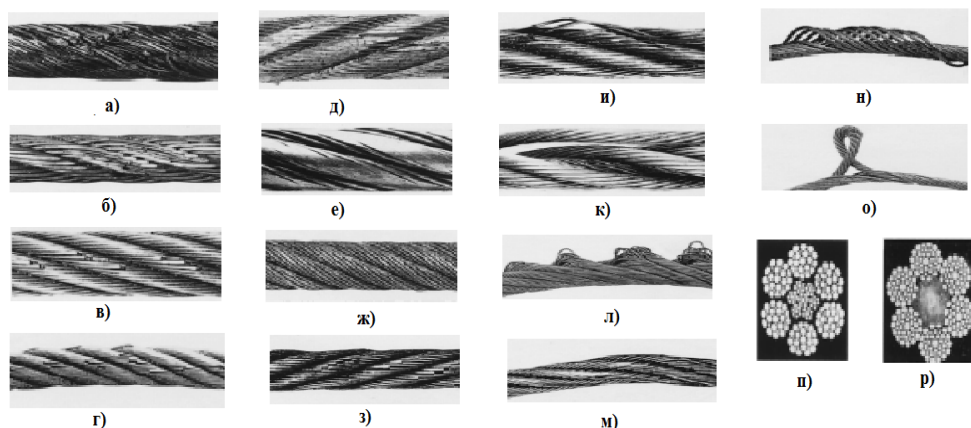


Рисунок 2 -Дефекты стальных канатов

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.

Во второй главе «Методы и методология исследования контроля натяжения несущих канатов» рассмотрены вопросы использования современных методов исследования неразрушающего (акустические, капиллярные, магнитные, оптические и т.д.) и механического контроля натяжения стальных канатов.

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.

В третьей главе «Математическое исследование натяжения стальных проволок стальных канатов» рассматривается динамическое движение подъемной установки в стволе шахты, изменение температурного состояния при наложении нагрузки, а также система автоматического контроля на подъемной установке от динамического и статистического напряжения.

Математическая модель динамического движения подъемной установки рассматривается в декартовой системе координат и учитывает активные (сила тяжести) и реактивные (натяжение каната) силы, действующие на систему, которая описывается следующими уравнениями:

$$\text{Уравнение движения каната: } \sum \vec{F}_i + \sum_i \vec{R}_i + \vec{\Phi} = 0 \quad (1)$$

где $\vec{F}_i$ – активные силы, Н; $\vec{R}_i$ – реактивные силы, Н; $\vec{\Phi}$ – сила инерции, Н.

$$\text{Уравнение движения первого барабана: } m \vec{g} - T_y = -m a_y \quad (2)$$

где m – приведенная масса, кг; g – ускорение свободного падения, м/с²; T_y – проекция силы натяжения каната на ось Оу, Н; $a_y = \frac{d^2 y}{dt^2}$ – проекция ускорения на ось Оу, м/с²;

$$\text{Уравнение движения второго барабана: } T * R_2 \sin \alpha = T_2 \frac{d\omega}{dt} \quad (3)$$

где T – сила натяжения, Н; R_2 – радиус барабана, м; T_2 – момент инерции, кг*м²; ω – угловая скорость барабана, рад/сек.

Для определения максимального и минимального натяжения каната в момент столкновения с препятствием используется проекция сил, которая учитывает коэффициент трения. Время обрыва каната определяется из условия, что в момент обрыва скалярное значение силы натяжения стремится к нулю.

Из этого условия выведено уравнение (4) для расчета времени обрыва

$$g + R_i \frac{d\omega}{dt} = \frac{2\kappa}{m} V_y \quad (4)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с²; R – радиус барабана, м; ω – угловая скорость барабана, рад/сек; κ – коэффициент трения, Нс/м; m – приведенная масса, кг; V_y – скорость вращения барабана, м/с².

Максимальная скорость, которая приводит к обрыву, определяется через дифференциальное уравнение изменения частоты вращения двигателя

$$V_{y \max} = R_i \frac{d\omega_{\max}}{dt}, \quad (5)$$

которое затем интегрируется для получения зависимости времени обрыва от параметров системы:

$$t = \frac{m}{2k} \ln \left(\frac{\omega_{\max}}{\omega_{\min}} + \frac{R}{g} (\omega_{\max} - \omega_{\min}) \right) \quad (6)$$

Численные расчеты, проведенные в среде Matlab, позволили получить зависимость времени разрыва каната от действующей на него нагрузки. График, представленный на рисунке 3, наглядно демонстрирует, что увеличение нагрузки приводит к сокращению времени до обрыва каната. Это подчеркивает критическую важность соблюдения норм нагрузки и контроля скорости вращения для обеспечения безопасности эксплуатации шахтных подъемных установок.

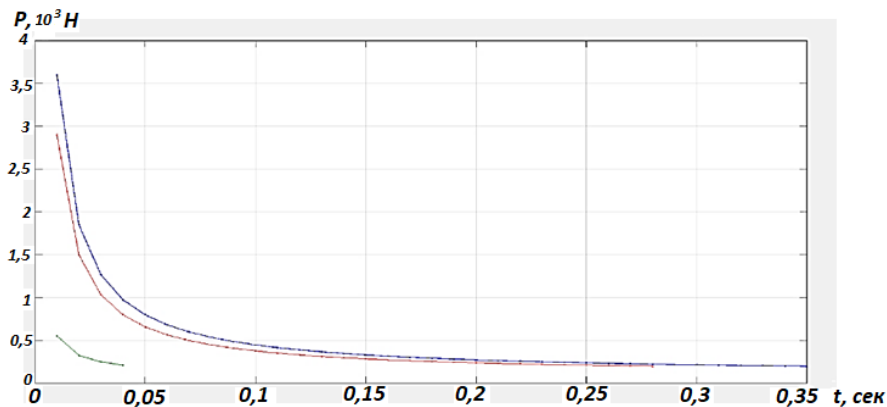


Рисунок 3 - Зависимость времени разрыва от нагрузки

Исследование изменения температуры проволоки стального каната при одноосном растяжении выполнено на примере проволоки стального каната диаметром 1 мм. Для описания деформированного состояния проволоки используется цилиндрическая система координат, а также формулы Коши, связывающие компоненты тензора деформации и вектора перемещения. Разработана математическая модель, выражающая теплоту деформации через напряжение:

$$Q = \int c * m * dT \quad (7)$$

где c - теплоемкость стали, Дж/кг⁰С; $m = \rho * \Delta V$ – масса элементарного участка материала, кг; T – температура, ⁰С;

На основании закона сохранения энергии можно получить дифференциальное уравнение для расчета температуры:

$$T = T_0 + R \sqrt{\frac{2\pi c(t) * E * z}{c * \beta * \rho * V_0}} \quad (8)$$

где T_0 – начальная температура стали, $^{\circ}\text{C}$; R – радиус цилиндрического участка исследуемого каната, м; $c(t)$ – безразмерный коэффициент; E – модуль упругости стали, Па; c –теплоемкость образца, Дж/кг $^{\circ}\text{C}$; z –длина проволоки; ρ – плотность стали, кг/м 3 ; V_0 – начальный объем участка, м 3 ; β – температурный коэффициент объемного расширения, $1/^{\circ}\text{C}$.

Численные расчеты, выполненные в среде Matlab, показывают зависимость изменения температуры от нагрузки. Численные данные (таблица 3) и графики (рисунок 4) иллюстрируют, что увеличение нагрузки приводит к повышению температуры проволоки. Распределение температуры по объему материала при различных растягивающих силах также было визуализировано (рисунок 4).

Таблица 3 - 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
$T, ^{\circ}\text{C}$	18.000	19.0684	19.0382	19.0212	19.0095	19.0007	18.9935	18.9876	18.9825	18.9780	18.9741

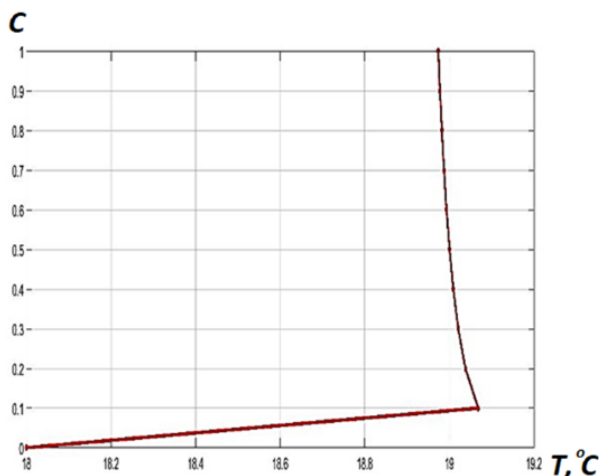


Рисунок 4 - Изменение температуры при различных значениях внешней силы натяжения

На рисунке 5 показаны распределение температуры по объему при различных значениях внешней силы натяжения.

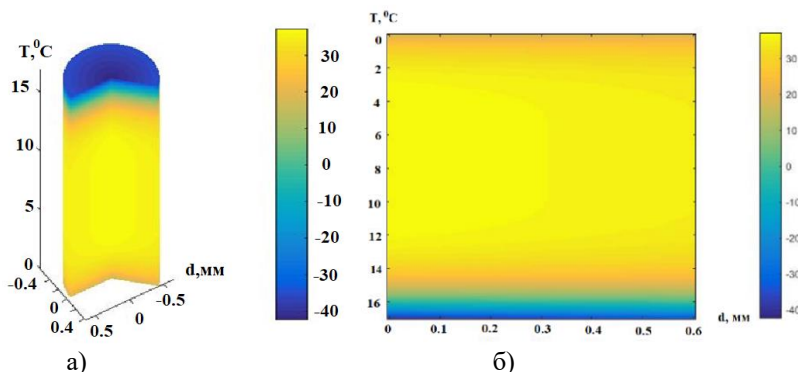


Рисунок 5 - Растяжение проволоки при $c=0$, а) распределение температуры б) Вид сверху

Для изучения динамических процессов в подъемной установке в момент удара была предложена и исследована двухмассовая система. Эта модель учитывает две ключевые массы: клеть (кабину) и массу прицепного устройства вместе с канатом. Эти массы соединены упругими связями, представляющими жесткость пружины парашюта и жесткость каната. Математическое описание системы представлено системой из двух дифференциальных уравнений второго порядка, которые были преобразованы в систему уравнений первого порядка для решения численными методами. Выведены формулы для определения жесткости каната и кабины. Общая деформация каната в момент удара складывается из статической и динамической деформаций кабины и жестких оснований.

Созданная модель (рисунок 6) включает блоки, имитирующие физические компоненты: неподвижные точки (Ground), призматические соединения (Prismatic), датчики (Joint Sensor), исполнительные механизмы (Joint Actuator) и тела (Body). Это позволяет исследовать колебательные процессы при посадке клетки на жесткое основание и проанализировать динамические и статические перемещения системы. Решение дифференциального уравнения:

$$y_2 = e^{-bt} \frac{v_0}{n} \left(1 - \frac{k_1}{mn^2} \right) \sin(nt) + \frac{k_1 v_0}{m} t. \quad (9)$$

Первый член уравнения (9) представляет затухающие динамические колебания, а второй — статическое перемещение кабины, поддерживаемой канатом. Данная формула описывает затухающие колебания системы и позволяет определить время, при котором прекращается влияние натяжения каната начинаются свободные колебания кабины и жесткого основания.

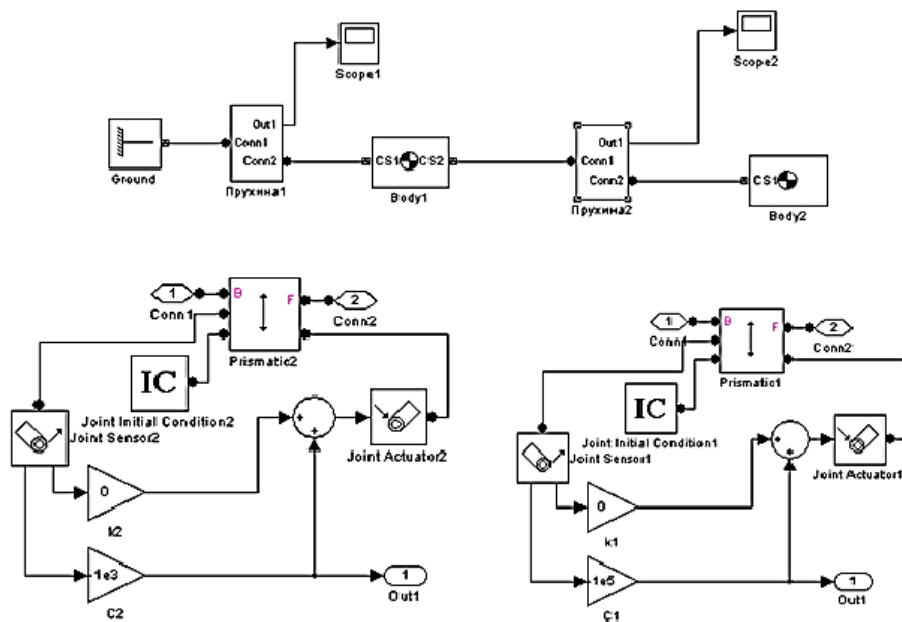


Рисунок 6 - Модель двухмассовой системы в среде Matlab

В четвертой главе исследовала измерения механического контроля натяжения проволоки стального каната. Для оценки механических свойств проволок стальных канатов было проведено испытание на разрывной машине *P-0.5*. Испытаниям подверглись три образца проволок различных производителей: 1 образец (Россия); 2 образец (Украина); 3 образец (Китай).

Таблица 4 -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 ГОСТ 3077-80:	АО «Белорецкий металлургический комбинат Мечел»
2	Второй образец	94410	12,0 ГЛ-В-Н-Р-1570 ГОСТ 3077-80	ЧАОПО «Стальканат-Силур»

3	Третий образец	56000	11 ХК05-120-20001 GB 89031988.	«TIAJIN Colik-Non Steel Wire Rope Co. LTD
---	----------------	-------	--------------------------------	---

Подготовка образцов проводилась в соответствии с государственными стандартами ГОСТ 10446-80 и ГОСТ 1497-84, при этом скорость растяжения составляла 10 мм/сек. В результате экспериментов были определены такие параметры, как растягивающая сила, упругое и относительное удлинение, а также механическое напряжение.

Таблица 5 -Экспериментально измеренные данные по разрыву проволок стальных канатов

Канаты	l , мм	$d_{до}$, мм	P , Н	F , мм ²	$d_{посл}$, мм	Δl , мм	ε	σ
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

На основе этих данных построены графики упругого удлинения для каждого образца.

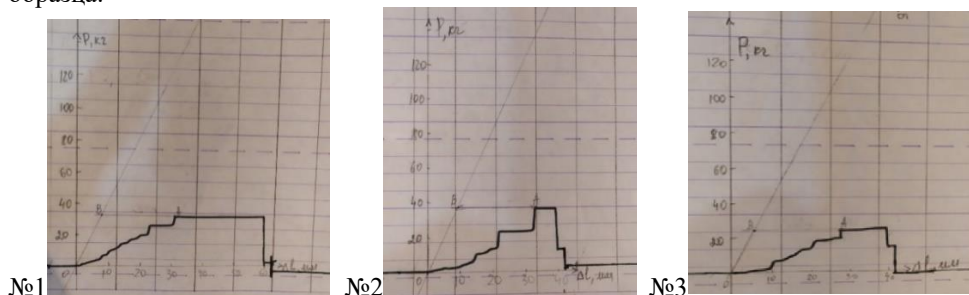


Рисунок 7 - Графики упругого удлинения проволок стальных канатов первого образца $Pf(\Delta l)$

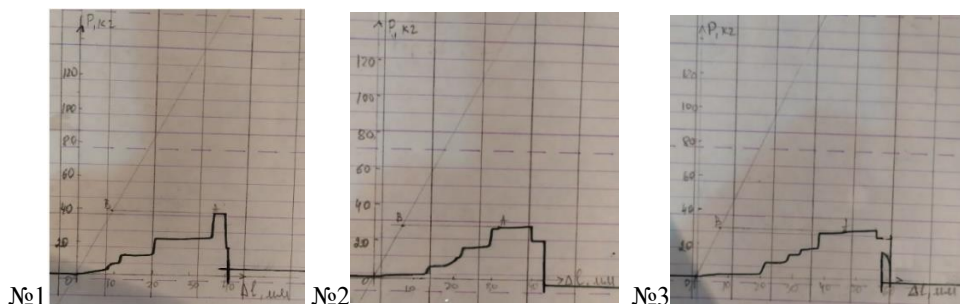


Рисунок 8 - Графики упругого удлинения проволок стальных канатов второго образца $Pf(\Delta l)$

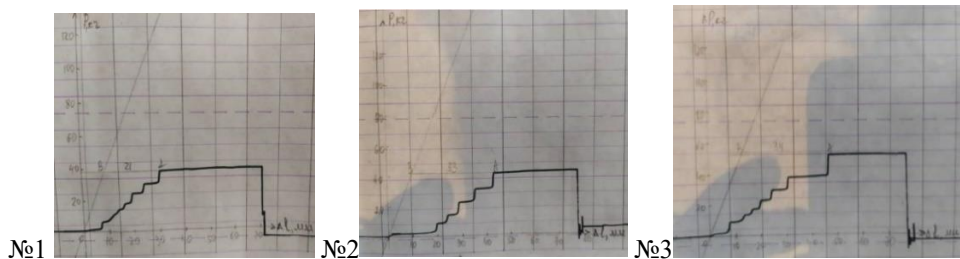


Рисунок 9 - Графики упругого удлинения проволок стальных канатов третьего образца $Pf(\Delta l)$

На основании экспериментальных данных и из расчета методики проведения эксперимента для определения растягивающих сил, упругого и относительного удлинения из таблицы 3 и рисунка 7, 8 и 9 был построен сравнительный график экспериментов по трем образцам проволок стальных канатов (рисунок 10).

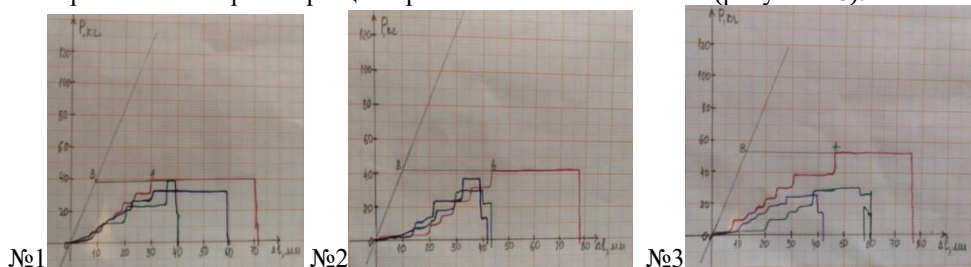


Рисунок 10 - Сравнительный график 3^х экспериментов по трем видам канатов $Pf(\Delta l)$

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

Сравнительный анализ показал, что проволока третьего образца имеет большее упругое удлинение по сравнению с первым и вторым образцами. Проволока первого образца показала наименьшее упругое удлинение, что указывает на ее более высокую жесткость.

Из-за выявленных различий в механических свойствах проволок был проведен их химический анализ с использованием сканирующего электронного

микроскопа TESCAN Vega3LMH с энерго-дисперсионным анализатором. Исследование показало, что проволоки отличаются по химическому составу, что напрямую влияет на их механические свойства. Установлено, что проволоки первого и второго образца имеют более высокое содержание железа (до 96% у второго образца), тогда как проволока третьего образца содержит значительно меньший процент железа.

Таблица 6 - 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

Таблица 7 - 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

Таблица 8 - 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

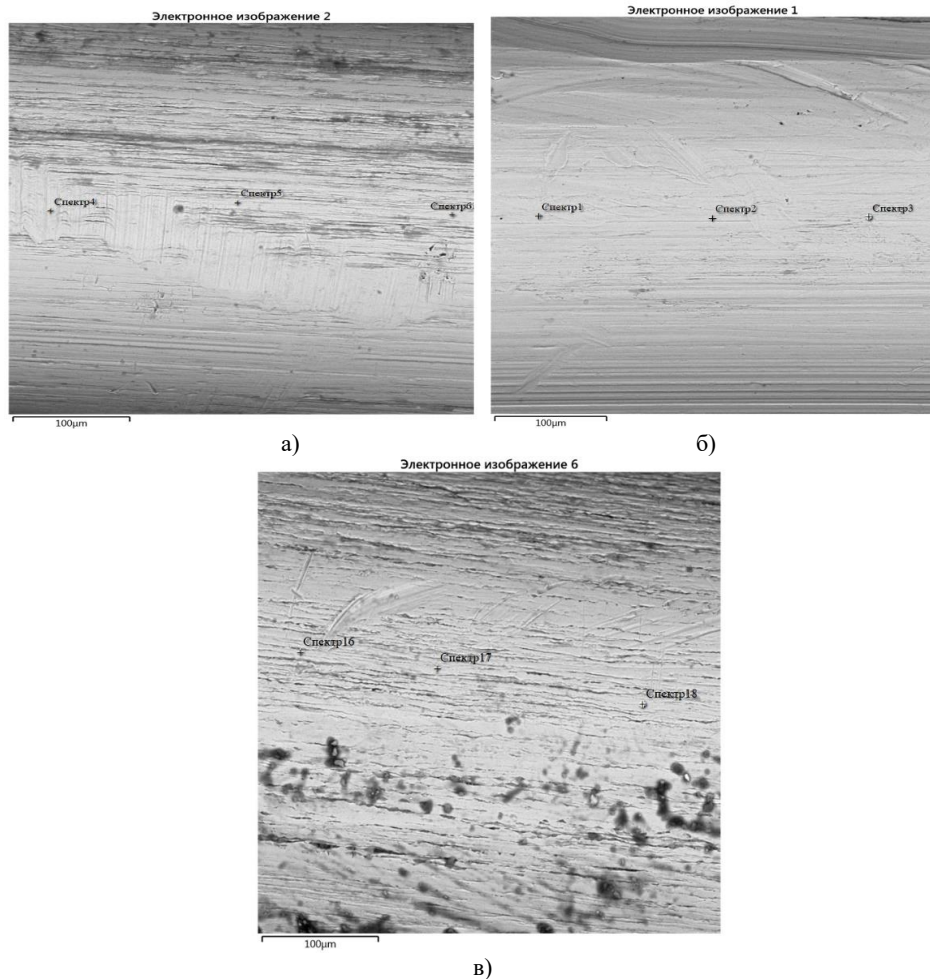


Рисунок 11 - Карта рельефа анализируемой области стальных проволок: а) первый образец; б) второй образец; в) третий образец

На основе проведенного анализа в целях повышения надежности и безопасности работы подъемных установок предложен новый вид тягового каната. Он включает в себя традиционный сердечник и пряди, но с важным дополнением: в сердечнике проложен двухжильный проволоки. Эти проволоки соединены с передатчиком радиосигнала, расположенным на барабане.

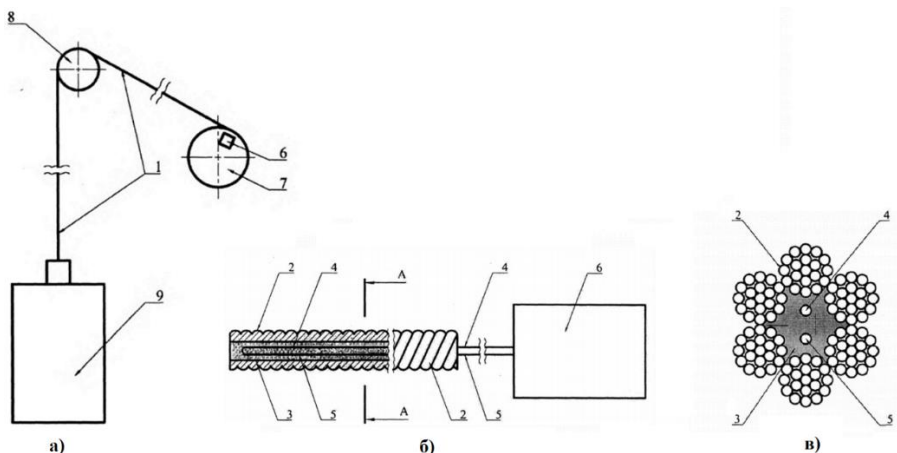


Рисунок 12 - Тяговый канат: а) схема расположения каната в рабочем состоянии; —б) продольный разрез каната; в) поперечный разрез каната. 1 - канат, 2 - пряди, 3 - сердечник, 4,5 - электропровода, 6 - передатчик радиосигнала, 7 - барабан подъемной установки, 8 - шкив копра, 9 - клеть.

Принцип работы: Во время работы подъемной установки канат испытывает деформацию под воздействием нагрузки. Этой же деформации подвергается и проволока в сердечнике. Изменение его длины и сечения приводит к изменению сопротивления и, как следствие, величины электросигнала, передаваемого по проволоке. При превышении допустимого уровня нагрузки передатчик генерирует радиосигнал, который активирует систему экстренного торможения барабана и отключает его привод. Эта позволяет осуществлять автоматический и непрерывный контроль натяжения каната, что значительно снижает вероятность его обрыва при перегрузках или динамических ударах. Для эффективной радиопередачи в шахтных условиях рекомендуется использовать диапазон частот 20-40 кГц для контроля натяжения и 100-450 кГц для радиосвязи.

Основной задачей диссертации заключается в повышении надежности работы несущего каната за счет снижения вероятности его обрыва в случае силовой перегрузки и динамического удара.

Поставленная задача решается путем создания системы многоточечного контроля натяжения, принципиальная схема которой представлена на рисунке 13.

Предложенное устройство реализует комплексный мониторинг натяжения каната в трех ключевых зонах, включающее датчик натяжения каната, расположен рядом с местом подвески подъемного сосуда. 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.

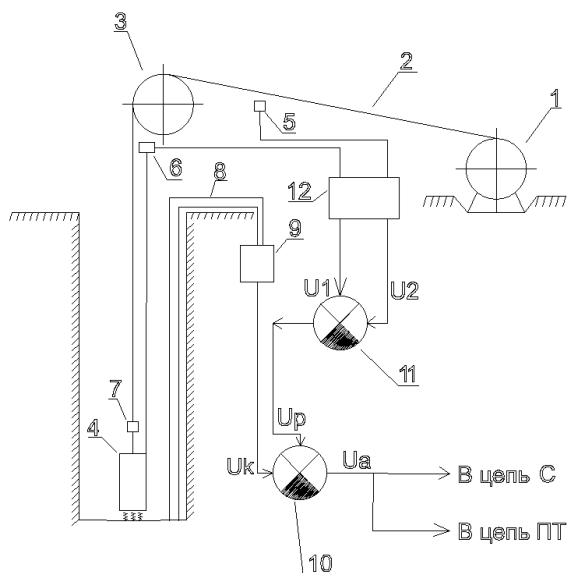


Рисунок 13 - Схема устройства контроля натяжения каната ШПУ: 1 - барабан, 2 - канат 3 - шкив, 4 - подъемный сосуд, 5,6 – датчики, контролирующие натяжение струны и вертикальной ветви каната, 7 – датчик контроля натяжения каната, 8 - петлевая антенна, 9 - преобразователь сигнала, 10, 11 - компаратор, 12 - преобразователь сигнала. C - электроцепь сигнализации, ПТ - электроцепь предохранительного тормоза

Устройство работает следующим образом. При включении привода подъемной машины (на рисунке 15 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 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_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 C) и предохранительный тормоз (в цепь 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.

Экономический эффект от внедрения системы контроля натяжения стальных канатов в ШПУ 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

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

В диссертационной работе решена актуальная задача исследования натяжения стальных канатов и предложены основные параметры для создания нового тягового стального каната и устройства автоматического контроля натяжения стального каната шахтной подъемной установки.

1. Несмотря на то, что аварии на шахтных подъемных установках постоянно относительно редко, они могут представлять собой серьезную 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 значения 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

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

- Результаты диссертационной работы могут быть использованы для создания нового вида тягового каната для подъемных установок, для автоматического контроля натяжения стальных канатов от нагрузки, а также, в учебном процессе вузов при подготовке инженерных кадров. В частности, методики расчета натяжения и их безопасная эксплуатация уже внедрены в учебный процесс Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова, что подтверждено соответствующим актом.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. Таштанбаева, В. О. Устройство контроля натяжения каната шахтных подъемных установок [Текст] / В. О. Таштанбаева // Горная пром-сть. – 2020. – № 4. – С. 125–128. - То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85101232471&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sot=anl&sdt=aut&s=AU-ID%28%22Tashtanbaeva%2C>
2. Таштанбаева, В. О. Обзор и анализ средств контроля натяжения стальных канатов [Текст] / М. М. Шамсутдинов, Таштанбаева В. О., // Изв. Кырг. гос. техн. ун-та им. И. Раззакова. – Бишкек, 2016. – № 1(37). – С. 61–65. - То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26699008>
3. 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. - То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://srcms.ru/spbf/miar/02/02-13.html>
4. Таштанбаева, В. О. 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. - То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48058458>
5. 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. - То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=45932555>
6. 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. - То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48779235>

7. 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. - То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48724667>
8. 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. - То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48107066>
9. 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. - То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47155002>
10. Пат. № 2163. Устройство контроля натяжения каната шахтных подъемных установок 31.07.2019 г. [Текст] / М. М. Шамсутдинов, В. О. Таштанбаева. – Бишкек: Кыргызпатент, 2019.
11. Пат. № 2221 Тяговый канат шахтной подъемной установки [Текст] / М. М. Шамсутдинов, С. Т. Степанов, В. О. Таштанбаева, В. С. Гордиенко. – Бишкек, 2020.
12. Таштанбаева, В. О. 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. - То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36293801>
13. Таштанбаева, В. О. Свидетельство на объект авторского права № 6049. Устройство и безопасная эксплуатация грузоподъемных машин и механизмов [Текст]. – Бишкек, 03.07.2024.
14. Таштанбаева, В. О. Теоретическое исследование натяжения стального каната подъемной установки [Текст] / В. О. Таштанбаева // Известия ВУЗов Кыргызстана. – 2020. – № 6. – С. 3–6. - То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.?id=46301593>

РЕЗЮМЕ

диссертации Таштанбаевой Венеры Орозбековны на тему: «Разработка и реализация системы автоматического контроля натяжения несущих канатов шахтных подъемных установок», на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.06 – горные машины

Ключевые слова: стальной канат, шахтная подъемная установка, натяжение, математическая модель, и др.

Объект исследования: несущие стальные канаты, эксплуатируемые в шахтных подъемных установках.

Предмет исследования: является изменения механических свойств и удлинение проволоки, что критически важно для оценки прочности и долговечности канатов подъемных установок за счет влияния силовой нагрузки в процессе работы

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

Методы исследования и аппаратура: исследование выполнялось на основе аналитических расчетов. Экспериментальные исследования проводились на лаборатории “Механика”. При измерениях использованы разрывная машина Р-0,5, штангенциркуль, камера высокоскоростной видеосъемки.

Полученные результаты и их новизна заключается в:

- разработке математической модели определения времени разрыва каната при нагрузке на несущий канат;
- разработке математической модели определения температурного изменения несущего каната под влиянием силовой нагрузки;
- разработке схемы установки неразрушающего контроля натяжения несущего каната;
- разработке схемы нового вида тягового каната с прядями для контроля и связи между подъемной установкой и пунктом управления.

Степень использования: разработана методика расчета определения динамики ударного двухподвижного механизма, которая может быть внедрена в учебный процесс; предложен новый вид каната, которая способствует автоматическому контролю натяжения стальных канатов ШПУ.

Область применения: горная промышленность, грузоподъемные механизмы, стенды для испытания гибких тяговых элементов, строительство

05.05.06 – тоо-кен машиналары адистиги боюнча техникалык илимдер кандидатына талапкер Таштанбаева Венера Орозбековнанын «Шахталык көтөрүүчү түзүлүштөрдүн тарткыч аркандарынын чыңалуусун автоматтык көзөмөлдөө тутумун иштеп чыгуу жана ишке ашыруу» темадагы диссертациялык иштин

БИЛДИРМЕСИ

Түйүн сөздөр: болот аркан, шахталык көтөрүүчү түзүлүш, чыңалуу, математикалык модель, ж.б.

Изилдөө объекти: шахталык көтөрүүчү түзүлүштөрдө колдонулуучу тарткыч болот аркандар.

Изилдөө буюму: аркандын иштөө учурундагы күчтүн таасиринен улам анын бекемдигин жана узакка чыдамдуулугун баалоо үчүн маанилүү болгон зымдардын механикалык касиеттеринин жана узаруусунун өзгөрүүлөрү.

Иш максаты: шахталык көтөрүүчү түзүлүштөрдүн тарткыч аркандарын авариялардан коргоо үчүн алардын чыңалуусун көзөмөлдөө тутумун түзүү.

Изилдөө ыкмалары жана аппаратура: изилдөө аналитикалык эсептөөлөрдүн негизинде жүргүзүлдү. Эксперименталдык изилдөөлөр “Механика” лабораториясында жүргүзүлдү. Өлчөөлөрдө Р-0,5 үзүүчү машинасы, штангенциркуль, жогорку ылдамдыктагы видео тартуучу камера колдонулду.

Алынган жыйынтыктар жана алардын жаңылыгы:

- тарткыч арканга күч келгенде анын үзүлүү убактысын аныктоонун математикалык моделин иштеп чыгуу;

күчтүн таасири астында тарткыч аркандын температуралык өзгөрүүсүн аныктоонун математикалык моделин иштеп чыгуу;

тарткыч аркандын чыңалуусун бузбай көзөмөлдөөчү түзүлүштүн схемасын иштеп чыгуу;

көтөрүүчү түзүлүш менен башкаруу пунктунун ортосундагы байланышты көзөмөлдөө үчүн жипчелери бар жаңы түрдөгү тартуучу аркандын схемасын иштеп чыгуу.

Колдонуу дэнгели: окуу процессине киргизиле турган сокку эки кыймылдуу механизмдин динамикасын аныктоону эсептөө ыкмасы иштелип чыкты; шахталык көтөргүч орнотмолордун болот аркандарынын чыңалуусун автоматтык түрдө көзөмөлдөөгө көмөктөшүүчү аркандын жаңы түрү сунушталды.

Колдонуу тармагы: тоо-кен өндүрүшү, жүк ташуучу механизмдер, ийкемдүү тартуу элементтерин сыноо стенддери, курулуш.

SUMMARY

of the dissertation of Tashstanbaeva Venera Orozbekovna on the topic: "Development and implementation of an automatic control system for the tension of ropes in mine hoisting installations", for the degree of candidate of technical sciences in the 05.05.06 – mining machines

Keywords: steel rope, mine hoisting installation, tension, mathematical model, etc.

The object of the study is a steel ropes used in mine hoisting installations.

Subject of research: changes in the mechanical properties and elongation of the wires, which is critically important for assessing the strength and durability of hoisting installation ropes due to the influence of load during operation.

The aim of the work is to create a tension control system for the ropes of mine hoisting installations to protect them from accidents.

Research methods and equipment: The research was carried out based on analytical calculations. Experimental studies were conducted at the "Mechanics" laboratory. The following were used for measurements: R-0.5 tensile testing machine, calipers, and a high-speed video camera.

The obtained results and their novelty consist in:

- The development of a mathematical model for determining the time to rope rupture under load on the main rope.
- The development of a mathematical model for determining the temperature change of the main rope under the influence of a load.
- The development of a scheme for a non-destructive testing installation for main rope tension.
- The development of a scheme for a new type of traction rope with strands for control and communication between the hoisting installation and the control point.

Degree of use: A methodology has been developed for calculating the dynamics of a double-sliding impact mechanism, which can be integrated into the educational process; a new type of rope has been proposed, which facilitates automatic tension control of steel ropes.

Scope: mining, lifting mechanisms, test benches for flexible traction elements, construction