

## ШАХТАНЫН ТӨБӨСҮНӨН ТҮБҮНӨ ЧЕЙИНКИ ТИК БӨЛҮГҮНДӨГҮ КӨТӨРҮҮЧҮ ОРНОТМОНУН ДИНАМИКАЛЫК КЫЙМЫЛЫН МАТЕМАТИКАЛЫК МОДЕЛДӨӨ

Таштанбаева В.О.<sup>1</sup>, Козубай И.<sup>2</sup>, Шамсутдинов М.М.<sup>3</sup>

<sup>(1)</sup>И.Раззаков атындагы Кыргыз мамлекеттик техникалык университетинин “Техносфералык коопсуздук” кафедрасынын улук окутуучусу, Кыргызстан, Бишкек ш., Ч.Айтматов пр.66. e-mail: [tashtanbaeva.venera@mail.ru](mailto:tashtanbaeva.venera@mail.ru)

<sup>(2)</sup>И.Раззаков атындагы Кыргыз мамлекеттик техникалык университетинин “Техносфералык коопсуздук” кафедрасынын доценти, Кыргызстан, Бишкек ш., Ч.Айтматов пр.66

<sup>(3)</sup>Б.Ельцин атындагы Кыргыз-орус славян университетинин профессору

**Аннотациясы:** Бул макалада шахтанын төбөсүнөн түбүнө чейинки тик бөлүгүндөгү көтөрүүчү орнотмонун кыймылынын динамикасын математикалык моделдөөнүн натыйжалары берилген. төбөсүнөн түбүнө чейинки тик бөлүгүндөгү көтөрүүчү орнотмонун иштөөсүнүн жолунда, авариялык жайдайларга алып келүүчү тоскоолдуктар пайда болушу мүмкүн. Шынаалашуу бөлүктөрдүн туура эмес түзүлүшү жана жылуулук кеңейүүсүнөн келип чыгышы мүмкүн. Ошондой эле майлоо, бетинин тегиздигин кайра иштетүү жана багыт берүүчүнүн тактыгы маанилүү болуп саналат. Барабандын айлануу жыштыгын, радиусун, массасын жана сүрүлүү коэффициентин билүү менен, шахтанын төбөсүнөн түбүнө чейинки тик бөлүгүндөгү көтөрүүчү орнотмонун шынааланышы калганда болот аркандын үзүлүү убактысын жана жүктүн тартылуучу максималдык маанисин аныктоого болорун сандык эксперименттер көрсөттү. Шынаалашуу учурунда болот аркандын зымынын элементардык бөлүгү каралат. Шахтанын төбөсүнөн түбүнө чейинки тик бөлүгүндөгү көтөрүүчү орнотмонун кыймыл жарыянынын математикалык моделдери, MATLABдагы эсептөө алгоритмдери жана мисалдары келтирилген.

**Негизги сөздөр:** көтөрүүчү монтаж, аркан, чыңалуу, деформация, математикалык модель, сынуу, убакыт

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ДВИЖЕНИЯ ПОДЪЕМНОЙ УСТАНОВКИ В СТВОЛЕ ШАХТЫ

Таштанбаева В.О.<sup>1</sup> Козубай И.<sup>2</sup>, Шамсутдинов М. М.<sup>3</sup>

<sup>(1)</sup> Старший преподаватель кафедры “Техносферная безопасность” Кыргызского государственного технического университета имени И. Раззакова, г. Бишкек, Кыргызстан, пр. Ч. Айтматова, 66. e-mail: [tashtanbaeva.venera@mail.ru](mailto:tashtanbaeva.venera@mail.ru)

<sup>(2)</sup> Доцент кафедры «Техносферная безопасность» Кыргызский государственный технический университет имени И. Раззакова, , Кыргызстан, г. Бишкек, пр. Ч. Айтматова.

<sup>(3)</sup> Профессор Кыргызско-Российского Славянского Университета им. Б.Ельцина

**Аннотация:** В данной статье приводятся результаты математического моделирования динамики движения подъемной установки в стволе шахты. 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. Численные эксперименты показали, что зная частоту вращения барабана, радиус, массу и коэффициент трения можно определить время разрыва и максимальное значение нагрузки растяжения на стальной канат при заклинивании подъемного сосуда в стволе шахты. Рассматривается элементарный участок проволоки стального каната при заклинивании. Приводятся математические модели процесса движения подъемного сосуда в столе шахты, алгоритмы и примеры расчёта в MATLAB.

*Ключевые слова:* подъемная установка, канат, натяжение, деформация, математическая модель, обрыв, время.

## MATHEMATICAL MODELING OF THE DYNAMIC MOVEMENT OF A LIFTING INSTALLATION IN A MINE SHAFT

**Tashtanbaeva V. O.<sup>1</sup>, Kozubay I<sup>2</sup>., Shamsutdinov M. M<sup>3</sup>.**

<sup>(1)</sup> Senior Lecturer of the Department "Technosphere Safety" Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakov, Bishkek, Kyrgyzstan, Ch. Aitmatov Ave., 66. e-mail: [tashtanbaeva.venera@mail.ru](mailto:tashtanbaeva.venera@mail.ru)

<sup>(2)</sup> Associate Professor of the Department "Technosphere Safety" Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakov, Kyrgyzstan, Bishkek, Ch. Aitmatov Ave. 66

<sup>(3)</sup> Professor of the Kyrgyz-Russian Slavic University. B. Yeltsin, Kyrgyzstan, Bishkek, Kiev st. 44

**Abstract:** This article presents the results of mathematical modeling of the dynamics of the movement of the lifting unit in the mine shaft. During the operation of the lifting installation in the shaft of the mine, obstacles may arise on the way, which can lead to an emergency. Jamming can be caused by misalignment and thermal expansion of parts. Also important are lubrication, surface roughness and guide accuracy. Numerical experiments have shown that knowing the drum rotation frequency, radius, mass and friction coefficient, it is possible to determine the rupture time and the maximum value of the tensile load on the steel rope when the lifting vessel is jammed in the mine shaft. An elementary section of the wire of a steel rope during jamming is considered. Mathematical models of the process of movement of the lifting vessel in the mine table, algorithms and examples of calculation in MATLAB are given.

**Keywords:** lifting installation, rope, tension, deformation, mathematical model, breakage, time.

**Введение:** 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.

В случае не соблюдения норм загрузки и выгрузки груза из клетки либо увеличение его массы приводит к повышенной нагрузке на стальные канаты [1], которые являются основным тяговым элементом всей системы.

**Актуальность темы и постановка задач.** Правила техники безопасности имеют своей целью предупредить несколько типов возможных поломок у подъемников [2,3,4]. 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: перевозимые грузы, комплектующие механизмы [5].

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[6].

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.

**Практическое исследование:** Согласно изучаемой шахтной подъемной установки стальной канат перемещается по вертикальной оси показанной на рисунке 1. Для получения динамического движения рассматривается плоская задача в декартовой системе координат xOy.

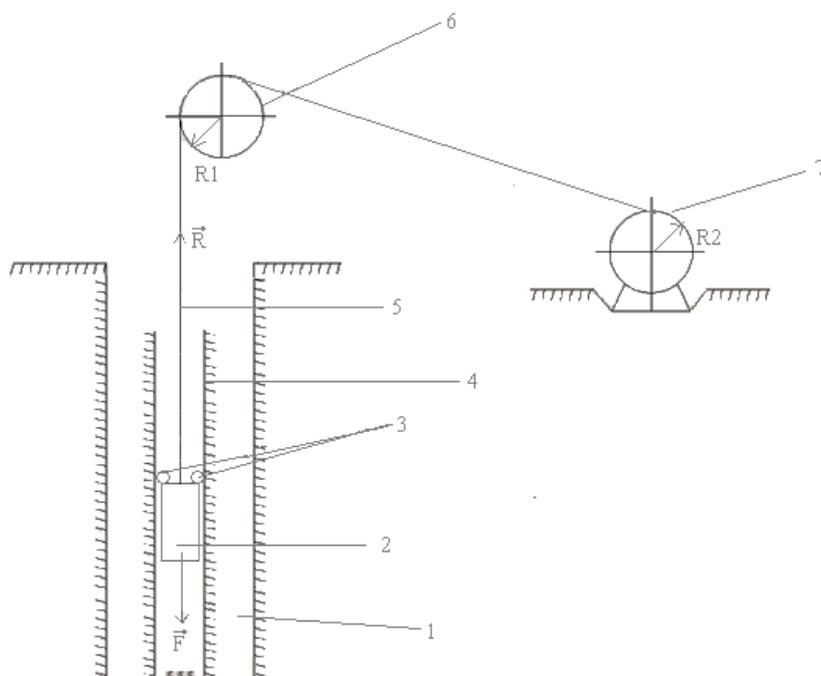


Рис 1. Схема лифта в стволе шахты

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

Масса лифта обозначается через  $M$  и на него действуют активные силы  $\vec{F}_i$  и реактивные силы  $\vec{R}_i$ . Как видно из рисунка 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[7].

Тогда общая математическая модель движения каната описывается следующим образом:

$$\sum \vec{F}_i + \sum_i \vec{R}_i = m \frac{d^2 r}{dt^2} \quad (1)$$

Все значения переносим в левую часть уравнения

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

В уравнение (2) можно ввести обозначение  $\vec{\Phi} = -m \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2}$  (3)

В классической литературе  $\vec{\Phi}$  носит название силы инерции.

В рассматриваемой системе приведенной в рис 1. сила инерции всегда противоположно направлена ускорению лифта[8].

После всех обозначений окончательное уравнение имеет следующий вид:

$$\sum \vec{F}_i + \sum_i \vec{R}_i + \vec{\Phi} = 0 \quad (4)$$

Уравнение (4) представляет собой математическую модель динамики движения лифта (Рис 2)

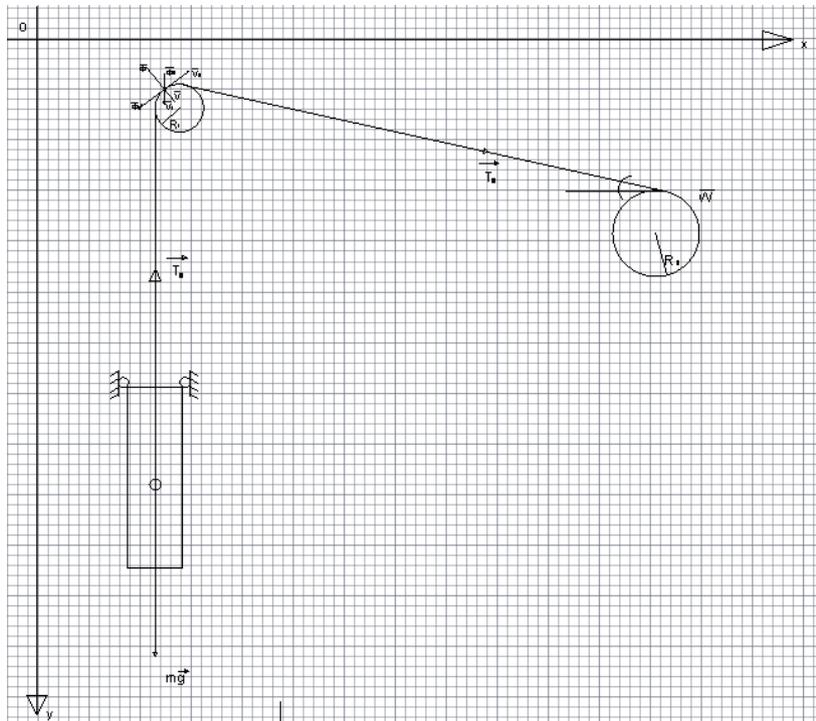


Рис 2. Математическая модель динамики движения лифта

$V_n$  - 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 рис.2 сила инерции это :  $\vec{\Phi} = \vec{\Phi}_t + \vec{\Phi}_n$  (5)

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

$$\vec{T} + m\vec{g} + \vec{\Phi} = 0 \quad (6)$$

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

$$m\vec{g} - T_y = -ma_y \quad (7)$$

где,  $a_y = \frac{d^2 y}{dt^2}$

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

$$V_y = V_{oy} + a_{yt} \quad (8)$$

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

$$T * R_2 \sin \alpha = T_2 \frac{d\omega}{dt} \quad (9)$$

Из уравнения (7) можно определить максимальную и минимальную натяжения каната:

$$T_y = mg + m \frac{d^2 y}{dt^2} = m(g + \frac{d^2 y}{dt^2}) \quad (10)$$

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

$$a_y = \frac{d}{dt}(\omega R_i) = R_i \frac{d\omega}{dt} \quad (11)$$

отсюда следует:

$$T_y = m(g + R_i \frac{d\omega}{dt}) \quad (12)$$

Теперь из данного уравнения можно определить максимальное и минимальное натяжения троса в момент столкновения лифта с препятствием(рис.3).

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

$$T_y - F_{yml1y} - F_{yml2y} = m(g + R_i \frac{d\omega}{dt}) \quad (13)$$

где,  $F_{yml} = \kappa \vec{V}$  - проекция сил,  $\kappa$  - коэффициент трения при срабатывании.

Решая уравнение (13) относительно сил получим формулу (14):

$$T_y - 2\kappa \vec{V}_y = m(g + R_i \frac{d\omega}{dt}) \quad (14)$$

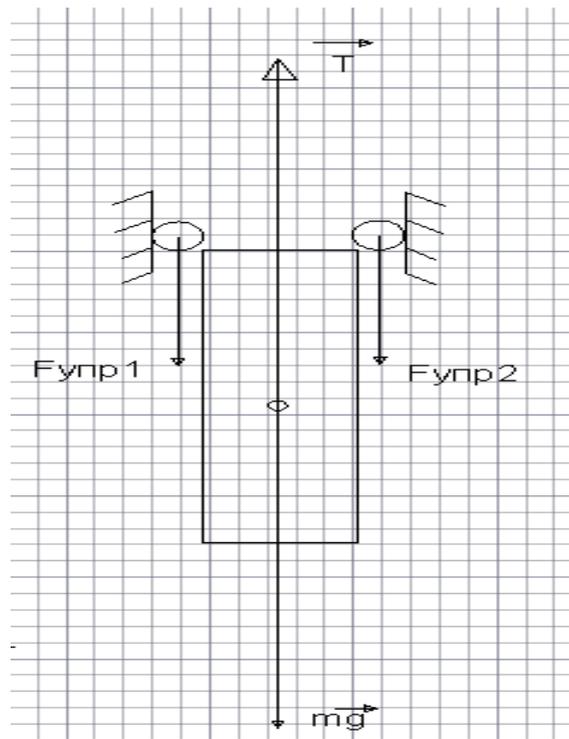


Рис 3. Момент столкновения лифта с препятствием

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 (14) можно определить время обрыва каната после приобретения движения  $V_{y\max}$

$$g + R_i \frac{d\omega}{dt} = \frac{2\kappa}{m} V_y \quad (15)$$

Максимальная скорость движения лифта в шахте которая приводит к разрыву стального каната можно представить в виде дифференциального уравнения изменения частоты вращения двигателя по времени выражается по формуле (16)

$$V_{y\max} = R_i \frac{d\omega_{\max}}{dt} \quad (16)$$

Совместно решая уравнения (6) и (7) можем привести к следующему виду:

$$g + R_i \frac{d\omega_{\max}}{dt} = \frac{2\kappa}{m} R_i \frac{d\omega_{\max}}{dt} \quad (17)$$

Из уравнения (17) следует, что ускорение свободного падения является функцией от частоты вращения двигателя.

$$\left(R_i + \frac{2\kappa}{m}\right) \frac{d\omega_{\max}}{dt} = g \quad (18)$$

Решая уравнение (18) получим следующее выражение:

$$dt = \frac{(R_i + \frac{2\kappa}{m})}{g} \omega_{maz} \quad (19)$$

Для того чтобы решить уравнение (19) интегрируем с учетом граничных условий. Теперь уравнение (19) можно интегрировать

$$\int_{t_0}^t dt = \frac{(R_i + \frac{2\kappa}{m})}{g} * \int_{\omega_{min}}^{\omega_{max}} d\omega_{maz} \quad (20)$$

После интегрирования уравнение (20) время обрыва стального каната принимает следующий вид:

$$t = \frac{(R_i + \frac{2\kappa}{m})}{g} \omega_{maz} \quad (21)$$

А для всех случаев при движении лифта в шахте сила натяжения из формулы (14) преобразуется к следующему виду:

$$T_y = 2\kappa \frac{\omega}{t} + m(g + R_i \frac{\omega}{t}) \quad (22)$$

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 рис 4[9,10].

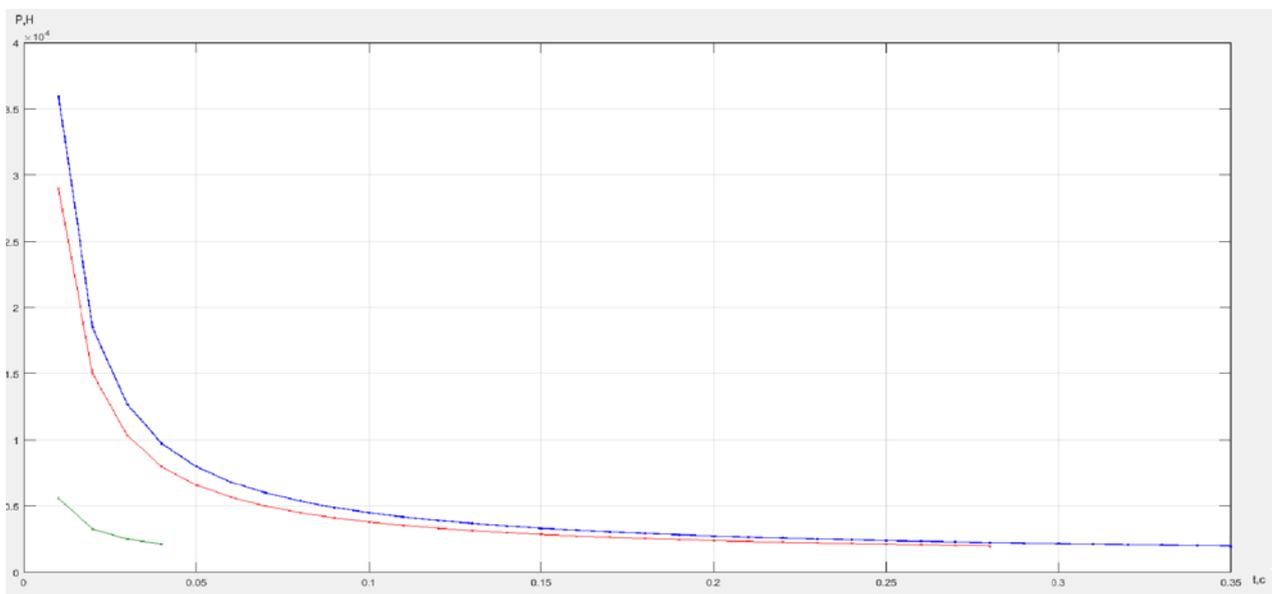


Рис.4 Зависимость времени разрыва от нагрузки и частоты вращения

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

**Заключение:** Приведенные уравнения требуют дополнительные исследования обрыва стального каната при заклинивании подъемного сосуда при движении вверх с учетом жесткости подъемного каната.

#### **СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ:**

1. **ГОСТ 10446-80(ISO6892-84).** Проволока. Метод испытания на растяжение. Введ. 01.07.1982. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2003
2. **Постановление ПКР** “Об утверждении Правил устройства и безопасной эксплуатации лифтов” от 8 ноября 2017г. № 730
3. **ПБ 03-553-03.** Единые правила безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений полезных ископаемых подземным способом. Введ. 13.05.2003. – М.: НТЦ «Промышленная безопасность», 2009 - 200с
4. **Единые правила безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений полезных ископаемых подземным способом.** Госгортехнадзор КР. Бишкек. 2000г
5. **Осецкий В.М., Горбачев Б.Г., Доброборский Г.А. и др.** учебник/Прикладная механика. Изд. 2, перераб. и доп.1977. 488 с.
6. **Стааль Дж.** Энциклопедии по вопросам охраны труда и техники безопасности/ Энциклопедия МОТ, 9 раздел 3-е издание, [электронный ресурс] <http://base.safework.ru/iloenc>
7. **Таштанбаева В.О., Борукеев Т.С., Козубай И.** Численные расчеты изменения температуры каната при одноосном растяжении/ Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. 2022. № 14. С. 15-20.
8. **Хохлов В.А., Цукублина К.Н., Куприянов Н.А., Логвинова Н.А.** пособие / Сопротивление материалов: Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 228 с.
9. **Шамсутдинов М.М.** Рудничные подъемные установки (безопасность эксплуатации) учебник. КРСУ Бишкек 2019г.
10. **Ощепков, А.Ю.** Системы автоматического управления: теория, применение, моделирование в MATLAB: Учебное пособие / А.Ю. Ощепков. - СПб.: Лань, 2013. - 208с.