

УДК 622.68:622.647.83

На правах рукописи

ТКАЧЕНКО ОКСАНА НИКОЛАЕВНА

**Разработка технических средств безаварийной доставки горной массы
крутонаклонным подъемником с глубоких карьеров**

05.05.06 – Горные машины

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Республика Казахстан
Алматы, 2010

Работа выполнена в ДГП «Институт горного дела им. Д.А.Кунаева» РГП
«Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья
Республики Казахстан» Министерства индустрии и новых технологий
Республики Казахстан

Научный руководитель: доктор технических наук
Едыгенов Е.К.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Бексалов Е.Б.

кандидат технических наук
Чуприн В.П.

Ведущая организация: **Карагандинский государственный
технический университет**

Защита состоится **28 декабря 2010 г. в 16⁰⁰** часов на заседании
диссертационного совета Д 14.61.23 при Казахском Национальном
техническом университете им. К.И.Сатпаева по адресу: 050013, Республика
Казахстан, г. Алматы, ул. Сатпаева, 22, корпус ГМК, ауд. 244.
Телефон: 8(727) 257 71 56, факс: 8(727) 292 60 25.
E-mail: dissov_14.61.23@mail.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Казахского
Национального технического университета им. К.И. Сатпаева по адресу: г.
Алматы, ул. Сатпаева, 22

Автореферат разослан 27 ноября 2010 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
докт. техн. наук, профессор

Ж.Д.Байгурин

Введение

Актуальность проблемы. Современное развитие горнодобывающей промышленности направлено на расширение разработок месторождений полезных ископаемых открытым способом.

Наряду с ростом числа горных предприятий с открытым способом добычи руд дальнейшее повышение извлечения полезных ископаемых связано с разработкой более глубоких горизонтов. При этом растут затраты на транспортирование горной массы и ее себестоимость. Доля расходов на карьерный транспорт в общей стоимости добычи полезного ископаемого в настоящее время составляет 40-60 % и с увеличением глубины карьеров до 500-600 м возрастут в 3 – 4 раза.

Рост глубины горных работ предъявляет новые требования к горно-транспортному оборудованию, а эффективность применения традиционных видов карьерного транспорта резко снижается.

В связи с постоянно возрастающей при углублении карьеров трудоемкостью горно-транспортных работ, важной проблемой становится обеспечение требуемой производительности горных предприятий при одновременном снижении затрат на доставку горной массы из карьера.

В настоящее время ведутся исследования по созданию крутонаклонных подъемников, одно из которых разрабатывается на базе конвейерных поездов – транспортного средства, выполненного в виде гибкой системы из ходовых тележек с грузонесущей поверхностью, приспособленной к загрузке крупнокусковых материалов, и движущегося непрерывно между пунктами погрузки и разгрузки под действием распределенных вдоль трассы электромагнитных приводов.

Для обеспечения нормальной эксплуатации крутонаклонные подъемники необходимо снабдить надежно действующими тормозными устройствами.

Существующие способы торможения транспортных средств не смогут обеспечить остановку поезда на больших уклонах, вследствие того, что тормозные системы расположены на транспортном средстве и предотвращение вращения колес не остановит спуск поезда под действием гравитационных сил, поэтому обеспечение безопасности движения крутонаклонного подъемника путем разработки эффективных тормозных систем является актуальной задачей.

Целью работы является разработка и обоснование рациональных параметров технических средств безаварийной доставки горной массы крутонаклонным подъемником с глубоких карьеров.

Основная идея работы заключается в обеспечении эффективного торможения крутонаклонного подъемника путем разработки тормозных систем торцевого и двухстороннего действия с электромагнитным приводом.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

– провести теоретическое исследование движения крутонаклонного подъемника при подъеме и спуске, определить зависимости изменения

скорости спуска и кинетической энергии от угла наклона и на этой базе обосновать рациональное время торможения транспортного средства;

- обосновать техническую возможность использования для торможения порожнего крутонаклонного подъемника при спуске в карьер электромагнитных приводов, аналогичных приводам, предназначенным для подъема груженого поезда;

- разработать тормозные устройства торцевого и двухстороннего действия с электромагнитным приводом, теоретически и экспериментально обосновать их рациональные технические параметры;

- обосновать возможность снижения сил сопротивления движению и амплитуды поперечных колебаний при использовании для движения крутонаклонного подъемника электромагнитных приводов с внутренним магнитопроводом.

Объектом исследования являются транспортные средства, осуществляющие крутонаклонную доставку горной массы из глубоких карьеров.

Предмет исследований – крутонаклонный подъемник, выполненный в виде конвейерных поездов со стационарно размещенными вдоль трассы электромагнитными приводами.

Методы исследований. В работе принят комплексный метод исследований, включающий анализ и обобщение выполненных ранее исследований и технических решений, теоретические и экспериментальные исследования на физических моделях. Аналитические исследования связаны с установлением закономерностей и обоснованием рациональных параметров с применением методов математического анализа, теоретической механики и экспериментальные – с созданием физических моделей и их исследованием.

Научные положения, выносимые на защиту:

- торможение порожнего крутонаклонного подъемника при спуске в карьер могут осуществлять электромагнитные привода, аналогичные приводам, работающим на подъем груженого поезда, при этом датчик включения привода расположен после привода по ходу спускаемого поезда на расстоянии равном не менее половины длины электромагнита;

- время срабатывания тормозного электромагнита со стопом определяется временем движения якоря в электромагните до стопа, которое прямо пропорционально намагничивающей силе (IW) и квадрату величины хода якоря тормозного электромагнита;

- снижение сил сопротивления движению и амплитуды поперечных колебаний крутонаклонного подъемника возможно при использовании конструктивных особенностей электромагнитного привода с внутренним магнитопроводом, при этом степень снижения сил сопротивления определяется отношением площадей сторон С-образного якоря, взаимодействующего с магнитным полем электромагнита.

Научная новизна результатов работы заключается в следующем:

– установлены зависимости изменения скорости спуска и кинетической энергии от угла наклона, что позволило обосновать рациональное время торможения крутонаклонного подъемника;

– обоснована техническая возможность использования для торможения порожнего крутонаклонного подъемника при спуске в карьер электромагнитных приводов, аналогичных приводам, предназначенным для подъема груженого поезда;

– теоретически и экспериментально определены рациональные параметры разработанных тормозных устройств торцевого и двухстороннего действия с электромагнитным приводом;

– обоснована возможность снижения сил сопротивления движению и амплитуды поперечных колебаний крутонаклонного подъемника при использовании электромагнитного привода с внутренним магнитопроводом.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и результатов подтверждается корректностью постановки задачи и использованием апробированных математических методов, положений теоретической механики, теории машин и механизмов, адекватностью теоретических и экспериментальных исследований.

Личный вклад автора состоит в: проведении анализа существующих тормозных устройств для горнотранспортных машин, в результате чего определена конструктивная особенность тормозных систем для крутонаклонных подъемников; разработке технического предложения по созданию тормозного устройства, обеспечивающего остановку конвейерного поезда на наклонном участке пути; исследовании зависимости тормозного усилия от угла транспортирования и веса крутонаклонного подъемника; определении тягового усилия тормозного устройства и времени срабатывания тормозного электромагнита, проведении экспериментальных исследований.

Научная новизна работы заключается в: получении закономерностей, определяющих функциональную связь между техническими параметрами тормозных устройств и технологическими характеристиками крутонаклонного подъемника; установлении зависимости времени срабатывания тормозных устройств от их технических характеристик; теоретическом обосновании снижения сил сопротивления движению транспортного средства с использованием конструктивных особенностей электромагнитного привода.

Практическое значение результатов диссертации заключается в разработке новых технических решений по созданию тормозных устройств для крутонаклонных подъемников, методике определения основных параметров электромагнитных приводов тормозных систем, обосновании конструкции электромагнита с внутренним магнитопроводом, снижающей силы сопротивления движению.

Реализация результатов работы. Технические предложения, разработанные автором, были приняты на предприятии ТОО «NC-technology» для разработки технологической схемы перемещения цистерн для очистки от нефтяных отходов с ожидаемым годовым экономическим эффектом 13,05 млн. тенге.

Результаты исследований были использованы в учебном процессе при подготовке лекционного материала по профильной дисциплине «Расчет конструктивных параметров технологических машин и оборудования» для подготовки магистров по специальности 6N0724 – Технологические машины и оборудование при ИГД им. Д.А.Кунаева.

Тема диссертации связана с научно-исследовательскими работами, выполненными при участии автора в период 2001-2009 гг. в соответствии с: Республиканской целевой научно-технической программой Ц.0169 тема №гос.регистрации 0100РК00084 (2001-2003 гг.) и тема №гос.регистрации 0105РК0099 (2004-2006 гг.); программами фундаментальных исследований: Ф.0260 тема №гос.регистрации 0103РК00198 (2003-2005 гг.); Ф.0352-3 тема №гос.регистрации 0106РК00120 (2006-2008 гг.); программой «Международное сотрудничество в области науки» тема №гос.регистрации 0107РК00539 (2007-2009 гг.).

Апробация работы. Результаты диссертационной работы докладывались и получили одобрение на: Международном симпозиуме «Неделя горняка» (Москва, 2006 г.); Международной научно-практической конференции «Горные науки Республики Казахстан – итоги и перспективы» (Алматы, 2004 г.); III-ей Международной научно-практической конференции «Проблемы развития горнодобывающих отраслей промышленности и безопасности контролируемого использования хризолитового волокна и хризолитосодержащих материалов» (г. Жетикара, 2005 г.); II-ой Международной научно-практической конференции «Горное дело и металлургия в Казахстане. Состояние и перспективы» (Алматы, 2006 г.); Международной конференции «Фундаментальные проблемы формирования техногенной геосреды» (г. Новосибирск, 2006 г.); Международной научной конференции «Наука и образование – ведущий фактор стратегии Казахстан – 2030» (г. Караганда, 2010 г.)

Публикации. По результатам выполненных исследований опубликовано 11 научных работ, из них 4 в изданиях, рекомендованных Комитетом по контролю МОН РК и 5 в материалах Международных конференций, получено два предпатента РК.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех разделов и заключения, изложенных на 114 страницах машинописного текста, включает 45 рисунков, 5 таблиц, библиографию из 106 наименований и 3 приложений.

Основная часть

Вхождение и закрепление Казахстана на мировом минерально-сырьевом рынке в условиях возрастающей конкуренции зависит от конкурентоспособности предлагаемой продукции, которая в свою очередь, зависит от качества, количества и себестоимости добываемых руд.

Доля расходов на транспортирование горной массы в общей стоимости добычи полезного ископаемого в настоящее время составляет 40-60 % и с увеличением глубины карьеров будет возрастать. Для снижения расстояния

доставки и транспортных расходов разработаны и разрабатываются крутонаклонные подъемники, среди которых скиповые подъемники, крутонаклонные ленточные и пластинчатые конвейера, скиповые пневмоподъемники, крутонаклонные подъемники на базе конвейерных поездов и др.

Большой вклад в исследования в области разработки и развития средств крутонаклонной доставки горных пород внесли такие ученые, как Ржевский В.В., Яковлев В.Л., Васильев М.В., Байконуров О.А., Ракишев Б.Р., Данияров А.Н., Акашев З.Т., Картавый А.Н., Шешко Е.Е., Галкин В.И., Потапов М.Г., Малыбаев С.К., Николаев Ю.А., Едыгенов Е.К., Штокман И.Г. и др.

Анализ существующих крутонаклонных транспортных средств для доставки горной массы с глубоких карьеров определил перспективные направления развития горнотранспортных машин для открытых горных работ.

Одно из перспективных направлений развития крутонаклонного транспорта для открытых горных работ связано с созданием крутонаклонных подъемников (КНП) на базе конвейерных поездов с электромагнитным приводом. Преимущество этого вида транспорта по сравнению с существующими заключается в возможности полной автоматизации транспортного процесса, осуществлении бесперегрузочных перемещений больших объемов крупнокусовой горной массы по крутонаклонной трассе.

Обеспечение нормальной эксплуатации КНП с электромагнитным приводом, как и любого транспортного средства, непосредственно связано с разработкой надежных тормозных устройств, обеспечивающих остановку машины в нужный момент.

Анализ технической информации, связанной с разработками тормозных устройств для различного типа транспортных средств, показал, что применение для КНП с электромагнитным приводом систем торможения с пневмо- и гидроприводами не рационально, поскольку в этом случае требуется иметь на поездах соответствующую инфраструктуру с трубопроводами для подачи в систему воздух или жидкость, что существенно осложнит конструкцию поезда. Наиболее приемлемым с учетом конструктивных и технических особенностей конвейерных поездов является разработка или усовершенствование существующих типов электромагнитных тормозов.

В своей работе крутонаклонный подъемник, как карьерный транспорт, будет перемещаться по горизонтальным и наклонным участкам пути, что требует определения необходимого значения тяговых усилий приводов, размещенных вдоль трассы. При спуске к забою или погрузочному пункту КНП необходимо притормаживать до нормативного значения скорости. При подъеме груженого подъемника в случае выхода из строя одного из приводов КНП под действием гравитационных сил может начать перемещение вниз по трассе, создавая аварийную ситуацию, что требует в этом случае незамедлительной остановки поезда.

Проведены исследования изменения скорости движения поезда по наклонной поверхности в зависимости от угла наклона трассы α и времени спуска без торможения, а также определены необходимые усилия для

остановки (притормаживания) КНП на наклонном участке пути. Эти зависимости имеют вид: скорость КНП через время t_k

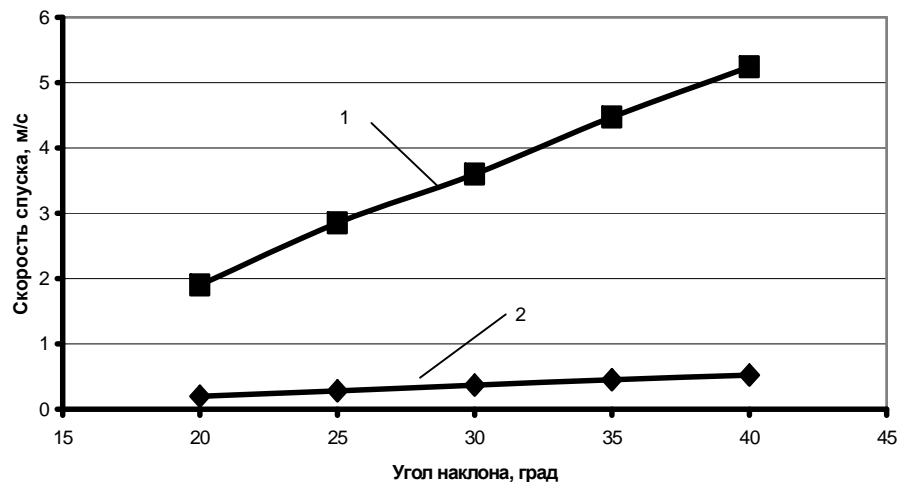
$$V_k = gt_k (\sin \alpha - k_c \cos \alpha), \text{ м/с}$$

и расстояние S , которое пройдет КП за время t_k

$$S = \frac{gt_k^2}{2} (\sin \alpha - k_c \cos \alpha), \text{ м.}$$

На рисунке 1 представлена зависимость изменения скорости спуска крутонаклонного подъемника при разных углах наклона трассы и времени с начала спуска под действием сил гравитации и сил сопротивления движению. Зависимость $V_k = f(\alpha)$ носит линейный характер, при этом получено, что при $t_k = 0,1$ с значение скорости в зависимости от угла наклона лежит в пределах от 0,2 м/с до 0,5 м/с, в то время как при $t_k = 1$ с скорость существенно возрастает.

Зависимость изменения величины перемещения КНП S под действием гравитационных сил от угла наклона трассы носит линейный характер, при этом увеличение времени в десять раз (с $t_k = 0,1$ с до $t_k = 1$ с) при всех исследуемых углах наклона величина S увеличивается в 10 раз.



1 – $t_k = 1$ с; 2 – $t_k = 0,1$ с

Рисунок 1– Изменение скорости спуска в зависимости от угла наклона

Кинетическая энергия W (рисунок 2), которую будет иметь крутонаклонный подъемник, перемещаясь вниз по наклонной плоскости под действием гравитационных сил, существенно зависит от угла наклона α (при $\alpha = 20^\circ$ $W = 0,6$ кДж, а при $\alpha = 40^\circ$ увеличивается более чем в 6 раз и достигает значения $W = 4,05$ кДж) и от времени спуска (с изменением времени в 10 раз, кинетическая энергия возрастает в 100 раз).

Анализ полученных зависимостей показывает, что для эффективной и безопасной остановки крутонаклонного подъемника в случае аварийной ситуации, необходимо, чтобы тормозная система была быстродействующей и срабатывала за $t_k \leq 0,1$ с, т.е. когда скорость и кинетическая энергия, полученная КНП при спуске, имеют малую величину и требуется меньше усилий для торможения крутонаклонного подъемника.

Одним из вариантов транспортной схемы доставки горной массы из карьера планируется использование отдельных трасс для груженых и порожних крутонаклонных подъемников. На порожней трассе при спуске КНП в карьер необходимо осуществлять торможение поезда. Необходимое для плавного спуска КНП весом Q и длиной L по наклонной под углом α плоскости усилие торможения $F_{\text{тор}}$ определили, используя теорему об изменении кинетической энергии, в виде

$$F_{\text{тор}} = \frac{Q}{2Lg} V_0^2 + \frac{Q}{2} (\sin \alpha - f \cos \alpha) - \frac{fQ}{2}. \quad (1)$$

где f – коэффициент сопротивления движению

V_0 – скорость, какую имел транспорт в момент перехода с горизонтального участка на наклонный участок пути.

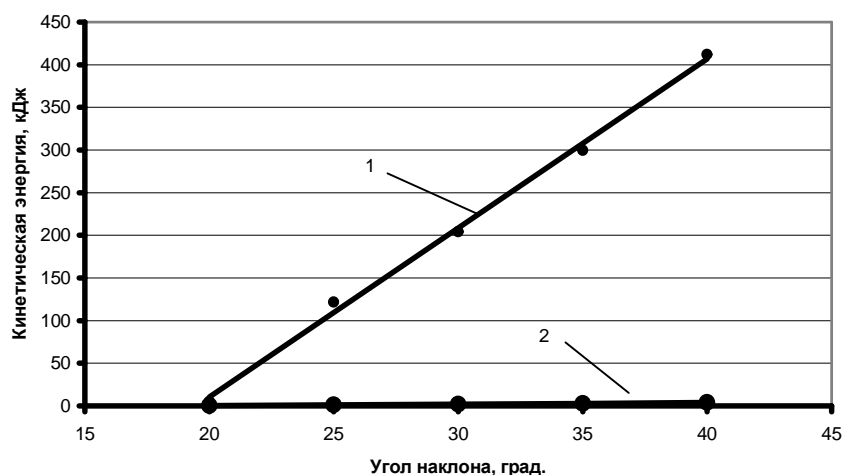


Рисунок 2 – Изменение кинетической энергии КНП при спуске от угла наклона трассы

Согласно (1) необходимое для плавного спуска КНП в карьер тормозное усилие пропорционально весу поезда и квадрату скорости, какую имел транспорт в момент перехода с горизонтального участка на наклонный участок пути, и обратно пропорционален длине поезда.

Торможение крутонаклонного подъемника на больших уклонах существующими тормозными устройствами не эффективно, так как фиксация колес, как это принято на железнодорожном и автомобильном транспорте, не предотвратит скольжение колес по рельсам. Для КНП требуется разработать тормозное устройство, останавливающее поезд без скольжения, для чего система торможения должна находиться вне транспортного средства.

Разработан, как один из вариантов, способ торможения КНП с использованием свойства линейных электромагнитных приводов – свойства симметричности, когда при взаимодействии магнитного поля с ферромагнитным якорем создается тяговое усилие, вектор которого направлен в сторону движения поезда до тех пор, пока геометрические центры электромагнитного привода и якоря не совпадут. При дальнейшем движении

якоря вдоль привода вектор силы тяги меняет свое направление на противоположное, и на якорь будут действовать сила, тормозящая его движение.

Для исследования возможности торможения крутонаклонного подъемника этим способом была использована теорема об изменении кинетической энергии, и получено уравнение для определения необходимого значения тягового усилия электромагнитного привода для подъема КНП по трассе с углом наклона α

$$F_3 = \frac{Q}{2 \cdot L \cdot g} (V_1^2 - V_0^2) + \frac{Q}{2} (\sin \alpha + f \cos \alpha + f), \quad (2)$$

из которого следует, что величина тягового усилия определяется, помимо сил сопротивления, разностью квадрата скоростей.

Расчеты тяговых усилий по выражениям (1) и (2) представлены на рисунке 3 для угла наклона $\alpha = 25^\circ$, грузоподъемности КНП $Q = 300$ кН и длины КНП $L = 200$ м. Из графиков видно, что значение усилия торможения F_T в среднем на 11 % меньше тягового усилия F_3 , которое должен развивать электромагнитный привод на груженой трассе. Следовательно, тяговые привода, установленные для подъема КНП, могут быть использованы для торможения КНП на порожнем участке пути.

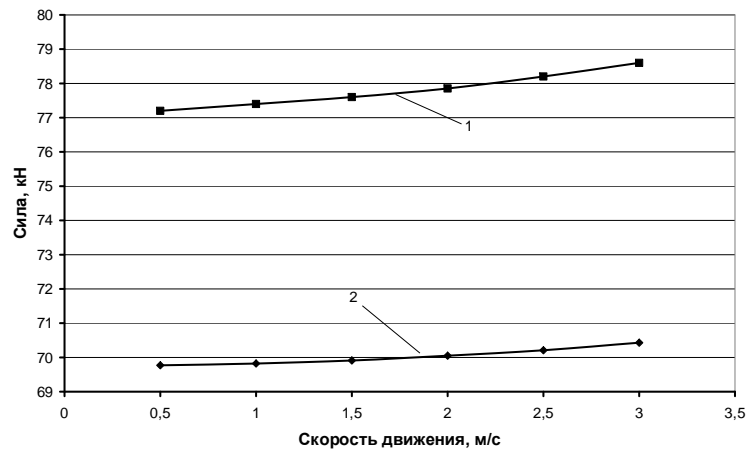


Рисунок 3 – Зависимость силы тяги электромагнитного привода (кривая 1) и усилия торможения (кривая 2) от скорости движения КНП

Для осуществления торможения поезда с использованием принципа симметричности определено расстояние l_∂ , на котором должен находиться датчик положения для включения привода для такой работы:

$$l_\partial = (0,5 \dots 0,8)l_3 - \tau,$$

где l_∂ - расстояние датчика положения (включения) от торца электромагнитного привода, м; l_3 - длина электромагнита, м; τ - толщина торцевого магнитопровода, м.

Разработано устройство, которое позволяет при подъеме КНП при необходимости обеспечить торможение без скольжения колес по направляющим рельсам за счет фиксатора, приостанавливающего спуск

конвейерного поезда, и полной остановки поезда за счет жесткого двухстороннего сжатия рамы ходовых тележек стационарно установленными тормозными устройствами.

Определено необходимое усилие двухстороннего тормозного сжатия для остановки КНП весом Q , спускающегося по наклонной плоскости под углом α к горизонту. При спуске на КНП действуют сила веса и силы сопротивления $F_c = f_1 Q$ и $F_T = 2f_2 P$, где f_1 и f_2 - соответственно, коэффициент сопротивления движению колесных пар по направляющим и коэффициент трения между буфером электромагнитного тормоза и рамой КНП. Усилие P , которое должны развивать тормозные электромагниты при двухстороннем сжатии, равно

$$P = \frac{Q}{2f_2} (\sin \alpha - f_1 \cos \alpha), \text{ Н.}$$

Важным параметром, характеризующим электромагнитный привод, является его сила тяги. Используя метод учета магнитных проводимостей воздушного зазора, получено уравнение для определения тягового усилия для случая электромагнита со стопом в виде

$$F_3^c = \frac{0,2\pi^2 (IW)^2 r_1^2}{l_{кат}} \times \frac{l_{кат} - h_c - h_2}{l_{кат} - h_c - h_1}, \quad (3)$$

где IW - ампервитки; $l_{кат}$ - длина катушки электромагнита, м; r_1 радиус ферромагнитного якоря, м; h_1, h_2, h_c - глубина внедрения якоря в катушку и длина стопа, м.

Выражение (3) позволяет определять тяговое усилие электромагнитного тормоза, варьируя его конструктивными параметрами.

Одним из основных элементов разработанной тормозной системы является электромагнитный тормоз, схематично изображенный на рисунке 4, где основные элементы: 1 - ферромагнитный якорь; 2 - обмотка электромагнита; 3 - шток; 4 -буфер с тормозной колодкой. На рисунке 5 представлена экспериментальная модель тормоза ТЭМ-1, которая прошла успешные лабораторные испытания. Функционально ТЭМ-1 может использоваться как тормозное устройство, так и как механизм для придания начальной кинетической энергии КНП для движения по направляющим.

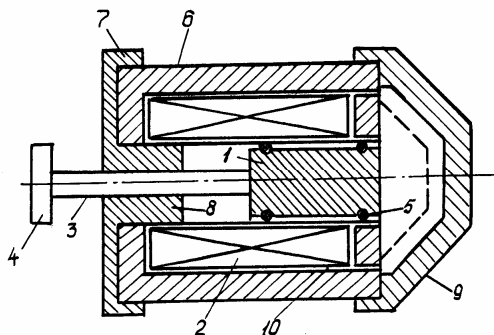


Рисунок 4 - Схема демпфирующего устройства

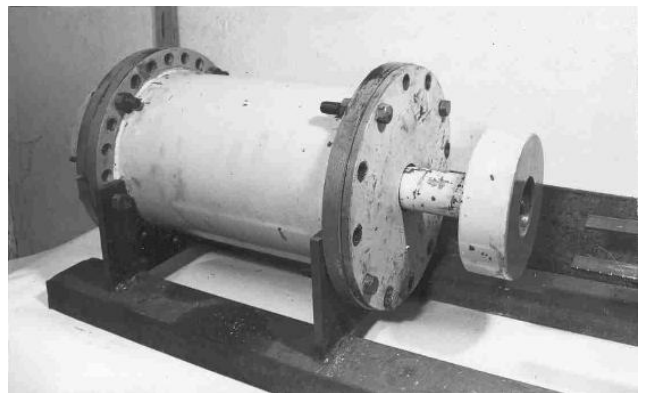
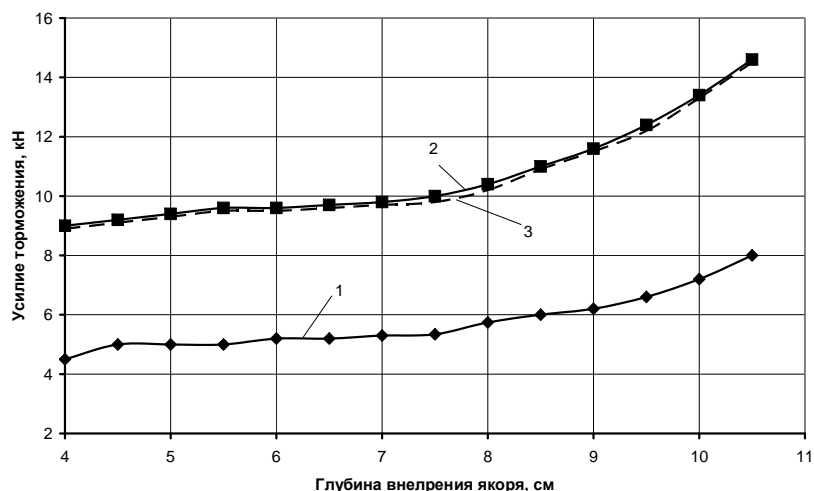


Рисунок 5 - Общий вид электромагнитного тормоза ТЭМ - 1

В результате испытаний была получена зависимость тягового усилия торможения и отталкивания поршня от хода якоря (рисунок 6).



Усилие торможения при: 1 – ток 140 А; 2 – ток 210 А; 3 – усилие отталкивания при токе 210 А

Рисунок 6 – Тяговая характеристика ТЭМ – 1

Как видно из графиков рисунка 6 отталкивающее (кривая 3 - пунктирная линия) и тормозящее (кривая 2) усилия имеют практически одинаковую зависимость от глубины внедрения поршня в электромагнит.

Время срабатывания тормозной системы определяется временем срабатывания тормозного электромагнита (временем перемещения буфера до рамы конвейерного поезда) $t_{тэ}$ и тиристоров $t_{т}$, т.е.

$$t_{тс} = t_{тэ} + t_{т}.$$

Время срабатывания тормозного электромагнита $t_{тэ}$ складывается из двух составляющих: времени трогания $t_{тр}$ - промежуток времени, необходимый для нарастания магнитного потока в электромагните до величины, при которой якорь начинает двигаться; времени движения $t_{дв}$ – промежуток времени, необходимый для движения якоря от момента трогания до контакта с выступом.

$$t_{тэ} = t_{тр} + t_{дв}.$$

Из технической литературы известно, что время отпирания тиристоров $t_{т} \leq 0,0001$ и для электромагнитов с нормальной скоростью действия время трогания не более 0,05 с., которое может быть уменьшено с использованием специальных методов форсирования магнитного поля.

При подключении обмотки электромагнита на постоянное напряжение при движении якоря вдоль электромагнита из-за увеличения индуктивного сопротивления ток в обмотке снижается и при исследовании динамических процессов необходимо знать зависимость изменения тока от времени. Для укрупненных расчетов предлагается использовать среднее значение тока и статическую характеристику тягового усилия.

С учетом этих допущений решение системы дифференциальных уравнений, описывающая электромагнитные и механические процессы в электромагните и имеющая вид

$$U = IR + W \frac{d\Psi}{dt};$$

$$M_{п.ч.} \frac{dV}{dt} = F_{\vartheta} - F_c \quad (4)$$

где I – ток, протекающий в обмотке электромагнита, А; W – число витков в обмотке; U – напряжение на обмотке электромагнита, В; R – активное сопротивление, Ом; F_{ϑ} – сила тяги электромагнита, Н; F_c – сила сопротивления движению, Н; Ψ – потокосцепление, Вб; $M_{п.ч.}$ – масса подвижных частей, кг, позволило получить при граничных условиях

$$t_0 = 0, \quad x_0 = 0; \quad t_1 = t_{дв}, \quad x_1 = l_{х.я.},$$

и некоторых преобразований значение времени движения якоря в зависимости от параметров тормозного электромагнита

$$t_{дв} = \frac{\pi\mu_0(IW)l_{х.я.}^2}{(U - IR)l_{\vartheta} \ln \frac{r_2}{r_1}} W, \quad (5)$$

где $l_{х.я.}$ – ход якоря в электромагните, м; r_1, r_2 – радиусы якоря и электромагнита, м.

Анализ этого выражения показывает, что время движения якоря в электромагните до стопа прямо пропорционально намагничивающей силе (IW) и квадрату величины хода якоря тормозного электромагнита (рисунок 7).

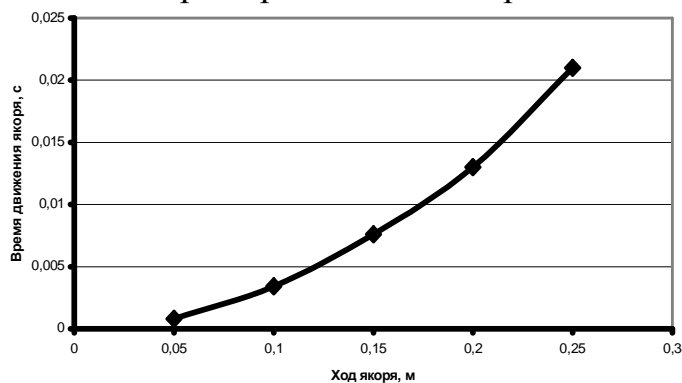


Рисунок 7 - Изменение времени движения якоря от величины его хода

Время движения якоря при величине его хода равном 0,1-0,15 м составляет 0,0035-0,0075 с., т.е. технологический зазор между тормозным башмаком и рамой поезда может быть принят равным 0,1 – 0,15 м. В этом случае, общее время срабатывания тормозной системы с учетом известных значения времени отпирания тиристора и времени трогания якоря будет равно $t_{т.с.} = 0,0001 + 0,0035 + 0,05 = 0,0536$ с, что соответствует принятым в данной работе рекомендациям.

Из второго уравнения (4), принимая силу сопротивления $F_c = k_c M_{п.ч} g$, а силу тяги электромагнита в зоне стопа определим, как $F_3 = F_0 + k_3 x$, где F_0 – некоторое установившееся значение силы тяги, определена скорость якоря, а, следовательно, и буфера тормозного электромагнита в момент соприкосновения с рамой КНП, которая равна

$$V_k = \sqrt{\frac{2}{M_{п.ч.}} \left(\frac{k_3 l_{x.я.}^2}{2} + F_0 l_{x.я.} \right) - 2k_c g}.$$

Знание скорости V_k позволяет определять энергию взаимодействия двух систем – тормозного электромагнита и крутонаклонного подъемника.

В процессе движения по трассе КНП будет испытывать дополнительное сопротивление из-за неровности направляющих, технологического зазора между ребордами колес и рельса и т.д., что требует увеличение мощности тяговых приводов, размещенных по трассе, и может привести к усилению поперечных колебаний, возможному сходу поезда с рельс, вывалу горной массы с грузонесущего полотна. При значительной амплитуде поперечных колебаний возможен перекося поезда относительно тягового привода и, как результат, аварийная ситуация.

Во избежание этих отрицательных ситуаций разработан конвейерный поезд для крутонаклонной доставки горной массы, позволяющий снизить влияние неровностей направляющих и устранить возможные поперечные колебания.

Для этого в конвейерном поезде вдоль внешних сторон ходовых тележек закреплены направляющие, на которых размещены ферромагнитные якоря С-образного сечения с возможностью их перемещения, а электромагниты с внутренним магнитопроводом закреплены по обеим внешним сторонам направляющих рельс для взаимодействия с ферромагнитными якорями С-образного сечения.

В электромагнитах с внутренним магнитопроводом тяговое усилие имеет тангенсальную составляющую, которая выполняет работу по перемещению транспортного средства, и нормальную составляющую, которая в зависимости от конструктивных параметров и силы тока составляет 10-20% от тангенсальной.

Предложено использовать нормальную составляющую тягового усилия для снижения нагрузки поезда на направляющие пути, используя конструктивные особенности электромагнитного привода с С-образным якорем.

Снижение нагрузки на рельсы в зоне действия тяговых приводов можно достичь, учитывая, что действующее усилие магнитного поля по нормали с ферромагнитным якорем зависит от площади взаимодействия якоря с электромагнитом.

В электромагните с внутренним магнитопроводом (рисунок 8), подвижный магнитопровод (якорь) С-образного сечения охватывает индуктор с обмоткой и имеет четыре поверхности, каждая из которых взаимодействует (по

нормали) с оппозитной стороной электромагнита, при этом одна из сторон якоря имеет продольный зазор для прохождения элементов крепления привода, т.е. эта сторона имеет меньшую площадь взаимодействия по нормали с магнитным полем, чем ей противоположная, что создает разницу нормальных составляющих сил и, в некотором роде, подъемную силу.

Для определения разности усилий взаимодействия по нормали, предполагая, что магнитные характеристики системы прямолинейны ($\mu = \text{const}$) и величина тока за время движения подвижного магнитопровода не изменяется, воспользуемся известным выражением для силы притяжения $F_{пр}$

$$F_{пр} = -\frac{(IW)^2}{2} \frac{dg}{d\delta},$$

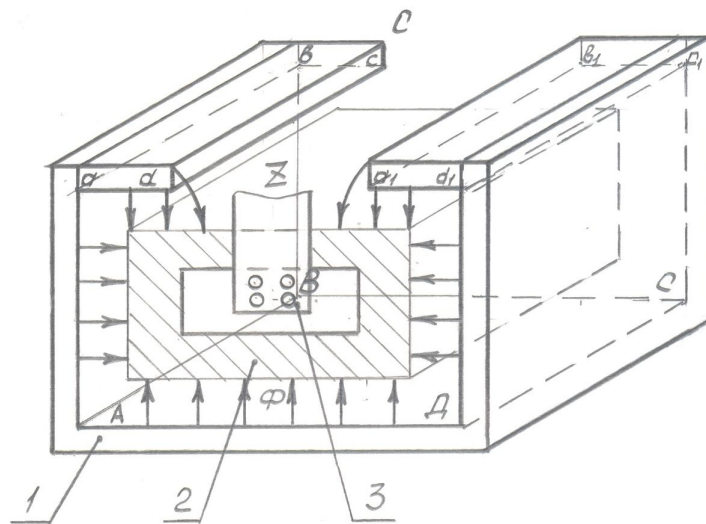
где IW – магнитодвижущая сила, А; g – магнитная проводимость, Гн; δ – зазор между магнитопроводом и индуктором, м.

В нашем случае величина рабочего зазора δ существенно меньше площади поверхности подвижного магнитопровода, то

$$\frac{dg}{d\delta} = -\frac{S}{\delta^2} \mu_0$$

и сила притяжения в зависимости от площади поверхности подвижного магнитопровода S и зазора δ будет равна

$$F_{пр} = \mu_0 \frac{(IW)^2 S}{2 \delta}. \quad (6)$$



1- ферромагнитный якорь С-образного сечения; 2 – индуктор; 3 – элемент крепления индуктора

Рисунок 8 – Схема электромагнитного привода с внутренним магнитопроводом

Сравнивая усилия притяжения между нижней и верхней поверхностями подвижного магнитопровода, получим

$$F_{np}^H = \frac{S_H}{S_B} F_{np}^B \quad (7)$$

Обозначая ширину нижней поверхности подвижного С-образного магнитопровода через m , длину подвижного магнитопровода через l_a и величину зазора в верхней части подвижного магнитопровода через z , то площади нижней S_H и верхней S_B части С-образного магнитопровода будут равны

$$S_H = m \cdot l_a, \quad S_B = (m - z) \cdot l_a. \quad (8)$$

Подставляя (8) в (7), получим

$$F_{np}^H = \frac{m}{m - z} F_{np}^B.$$

С увеличением зазора z растет разница между нормальных составляющих сил притяжения нижней и верхней поверхности магнитопровода и при значении $z = 0,5 \cdot m$ разница возрастает в два раза, что приведет к снижению нагрузки поезда на направляющие пути.

Боковые поверхности магнитопровода имеют одинаковые площади, и это означает, что они будут взаимно уравновешиваться и снижать, тем самым, продольные колебания поезда.

Разработана технология и определены технические параметры основных агрегатов электромагнитного транспорта для безлокомотивной откатки нефтеналивных цистерн с годовым экономическим эффектом только для одной очистной станции в 13,05 млн. тенге.

Заключение

На основе теоретических и экспериментальных исследований изложены новые научно-обоснованные технические решения по созданию технических средств для безаварийной доставки горной массы крутонаклонным подъемником с глубоких карьеров, внедрение которых внесет значительный вклад в развитие горнотранспортных машин.

Основные научные и практические выводы, полученные в результате проведенных исследований, заключаются в следующем:

1. Установлено в результате проведенного анализа технической и патентной технической информации, что одним из перспективных видов крутонаклонных транспортных средств являются крутонаклонные подъемники, разработанные на базе конвейерных поездов с электромагнитным приводом.

2. Установлено, что для эффективной и безопасной остановки крутонаклонного подъемника в случае аварийной ситуации, например, выхода из строя одного или нескольких приводов, необходимо, чтобы тормозная система была быстродействующей и срабатывала за время $t_k \leq 0,1$ с.

3. Получены аналитические выражения для определения скорости замедления и тормозного усилия при спуске крутонаклонного подъемника по

наклонной трассе, и установлено, что тормозное усилие пропорционально весу поезда и квадрату скорости, какую имел транспорт в момент перехода с горизонтального участка на наклонный участок пути, и обратно пропорционально длине поезда.

4. Доказана возможность для остановки крутонаклонного подъемника при спуске по наклонной трассе использования особого свойства линейных электромагнитов – свойства симметричности. Для торможения поезда с использованием этого свойства определено расстояние, на котором должен находиться датчик положения для включения электромагнитного привода для выполнения такой работы.

5. Для остановки крутонаклонного подъемника в случае аварийной ситуации разработана тормозная система. Получены уравнения для определения необходимого усилия сжатия рамы КНП тормозными устройствами.

6. Обоснована техническая возможность за счет использования конструктивных особенностей электромагнитов с внутренним магнитопроводом и С-образным якорем обеспечить снижение сил сопротивления движению и амплитуду поперечных колебаний крутонаклонного подъемника.

7. Предложена технология и определены основные технические и технологические параметры транспортного средства с применением электромагнитных приводов и тормозных устройств для перемещения нефтеналивных цистерн для их очистки. Годовой экономический эффект только для одной станции составит 13,05 млн. тенге.

Оценка полноты решения поставленных задач

В результате проведения теоретических и экспериментальных исследований полностью были решены следующие задачи:

- проведены исследования движения крутонаклонного подъемника при подъеме и спуске, определены зависимости изменения скорости спуска и кинетической энергии от угла наклона и на этой базе обосновано время торможения транспортного средства;

- обоснована техническая возможность использования для торможения порожнего крутонаклонного подъемника при спуске в карьер электромагнитных приводов, аналогичных приводам, предназначенным для подъема груженого поезда;

- разработаны тормозные устройства торцевого и двухстороннего действия с электромагнитным приводом, научно обоснованы их рациональные технические параметры;

- обоснована возможность снижения сил сопротивления движению и амплитуды поперечных колебаний при использовании для перемещения транспортного средства электромагнитных приводов с внутренним магнитопроводом.

Разработка рекомендаций и исходных данных по конкретному использованию результатов.

Разработана технология и определены основные технические параметры основных агрегатов электромагнитного транспорта для безлокомотивной откатки нефтеналивных цистерн, вагонов на железнодорожных станциях для формирования состава. Разработана конструкция электромагнитных тормозов типа ТЭМ-1, которые могут использоваться при разгрузочно-погрузочных операциях.

Оценка научного уровня выполненной работы в сравнении с лучшими достижениями в данной области

В данной работе впервые получены следующие результаты:

- установлено, что торможение порожнего крутонаклонного подъемника при спуске в карьер могут осуществлять электромагнитные привода, аналогичные приводам, работающим на подъем груженого поезда, при этом датчик включения привода расположен после привода по ходу спускаемого поезда на расстоянии равном не менее половины длины электромагнита;

- доказано, что время срабатывания тормозного электромагнита со стопом определяется временем движения якоря в электромагните до стопа, которое прямо пропорционально намагничивающей силе (IW) и квадрату величины хода якоря тормозного электромагнита;

- доказано, что при использовании конструктивных особенностей электромагнитного привода с внутренним магнитопроводом возможно снижение сил сопротивления движению и амплитуды поперечных колебаний крутонаклонного подъемника, при этом степень снижения сил сопротивления определяется отношением площадей сторон С-образного якоря, взаимодействующего с магнитным полем электромагнита.

Список опубликованных работ по теме диссертации

1 Едыгенов Е.К., Ткаченко О.Н. Повышение эффективности конвейерных поездов//Сб.науч.трудов «Научно-техническое обеспечение горного производства» - Т. 68.- Ч. 1.-Алматы: ИГД им. Д.А.Кунаева - 2004 - С. 148-150.

2 Предпатент № 15532. РК. Конвейерный поезд/ Едыгенов Е.К., Ткаченко О.Н., Едыгенов Н.Е.; опубл. 15.03.2005, Бюл.№ 3. – 2с: ил.

3 Едыгенов Е.К., Ткаченко О.Н. Система торможения для крутонаклонных подъемников// Мат. 3-й Междун. науч.-практ. конф. «Проблемы развития горнодобывающих отраслей промышленности и безопасности контролируемого использования хризотилового волокна и хризотилосодержащих материалов». – Житикара: - 2005 - С.345-349.

4 Едыгенов Е.К., Ткаченко О.Н. Тормозное устройство для аварийной остановки крутонаклонного подъемника//Научно-техническое обеспечение горного производства - Т. 70. : сб.науч.трудов ИГД им. Д.А.Кунаева. – Алматы, 2005. - С. 141-146.

5 Едыгенов Е.К., Ткаченко О.Н. Исследование системы торможения с электромагнитным приводом для крутонаклонных подъемников // Сб. науч. тр. «Научно-техническое обеспечение горного производства» - Т. 71.- Алматы: ИГД им. Д.А.Кунаева –2006 - С.136-142.

6 Предпатент №17909. РК. Конвейерный поезд для крутонаклонной доставки горной массы/ Едыгенов Е.К., Ткаченко О.Н., Неборокова Н.Н.; опубл. 16.10.2006, Бюл. № 10. – 2с: ил.

7 Ткаченко О.Н. Тормозные системы для крутонаклонных подъемников для открытых горных работ//В мат. 2-ой Междун. науч. –практ. конф. «Горное дело и металлургия в Казахстане, состояние и перспективы».- Алматы. - 2006.- С. 269-273

8 Едыгенов Е.К., Ткаченко О.Н. Разработка тормозных систем для крутонаклонных подъемников с электромагнитным приводом//В тр. междун. конф. «Фундаментальные проблемы формирования техногенной геосреды».- Т.2.-Машиноведение. - Новосибирск – 2007. - С.122-127

9 Едыгенов Е.К., Ткаченко О.Н. Транспорт на открытых горных работах//Комплексная переработка минерального сырья Казахстана (состояние, проблемы, решения). - Т.1,б. Горные науки и проблемы освоения недр Казахстана.- Алматы. - Изд. 2.- 2008. – С. 251-269

10 Едыгенов Е.К., Ткаченко О.Н. Определение усилия торможения крутонаклонного подъемника с электромагнитным приводом//В трудах Междун. науч. конф. «Наука и образование-ведущий фактор стратегии «Казахстан – 2030». - Ч.4. – Караганда - 2010. – С. 37-39

11 Едыгенов Е.К., Ткаченко О.Н. Управление системой торможения крутонаклонного подъёмника с электромагнитным приводом//Научно-техническое обеспечение горного производства - Т. 80.: Сб.науч.тр. ИГД им. Д.А.Кунаева. – Алматы. 2010 .

«Терең карьерлерден кен массасын тік көлбеу көтергішпен апатсыз жеткізуге арналған техникалық құралдар жасау» туралы Оксана Николаевна Ткаченконың техника ғылымдарының кандидаты дәрежесін алуға ұсынып отырған диссертациясының қысқаша ТҮЙІНІ

05.05.06 – кен машиналары мамандығы бойынша

Кенді алу жұмыстарының тереңде жүргізілуіне байланысты кен тасымалдау құрал-жабдықтарына қойылатын талаптар күрделілене түсуде. Тереңдік 150-200м болғанда бұрынғы қолданылып жүрген дәстүрлі карьерлік-теміржол және автомобиль көліктерін пайдалану тиімділігі төмендейді.

Карьерлер тереңдеген сайын кен тасымалдау жұмыстары еңбегі аса көп қажет етеді, кен геологиялық және кен техникалық жағдай қиындайды, кен кәсіпорындары еңбек өнімділігін арттыру маңызды проблемаға айналады, тереңде жатқан пайдалы қазбаларды тасымалдау шығыны көбейеді.

Бұл тұста тік көлбеу көтергіш жасау нағыз перспективалы техникалық шешім болып табылады, ол конвейерлі поездар негізінде құрастырылады – беті жүк көтеруге лайықталған жүрме арбалар жүйесінде жасалған, ірі кесекті материалдар тиіп, тасуға лайықталған, тиеу және түсіру орындары арасында жүретін тасымал құралы.

Жұмыстың мақсаты – терең карьерлерден кен массасын тік көлбеу көтергішпен апатсыз жеткізетін техникалық құралдардың ұтымды параметрлерін әзірлеп, негіздеу болып табылады.

Зерттеу нысаны – пайдалы қазбаларды ашық тәсілмен қазып алуда терең карьерлерден кен массасын тік көлбеу жеткізуді іске асыратын тасымал құралдары.

Зерттеу тәсілдері. Бұл жұмыста зерттеудің кешенді, құрастырмалы тәсілі қолданылды, бұрын орындалған зерттеулер мен техникалық шешімдерді талдау және жинақтау, физикалық модельдерде теориялық және тәжірибелік зерттеулер жасау. Аналитикалық зерттеулер математикалық талдаулар, теориялық механиканы, машиналар мен механизмдер теориясын пайдалана отырып заңдылықтарды анықтау мен ұтымды параметрлерді негіздеумен байланысты, ал тәжірибелік зерттеулер – физикалық модельдерді жасау және сол модельдерді зерттеулерді пайдалана отырып өлшеу аспаптарын пайдаланып зерттеу.

Қорғауға ұсынылатын басты ғылыми қағидалар:

– бос тік көлбеу көтергішті карьерге түсерде баяулату яки тоқтату үшін жүк тиелген поезды жоғары тартатын жүргізгіштерді пайдалануға болады, бұл жағдайда электрмагнитті жүргізгіштің тік көлбеу көтергішті тоқтатуға жұмсайтын күші поездың көлбеу учаскеге кірер кездегі жылдамдығының квадратына тура пропорциялы, ал поездың ұзындығына кері пропорциялы болады, электрмагнитті жүргізгішті қосу датчигі жүргізгіштен кейін төмен түсіп келе жатқан поезд бағытында электрмагнит ұзындығының тең

жартысынан магнит сымының (шетін) ұшын алып тастағанға тең қашықтықта орналасқан:

- тежеуші электрмагниттің тоқтау уақыты электрмагниттегі якорьдің қозғалыс мезгілімен анықталады, ол магниттеу күшіне ($1W$) және тежеуші электрмагнит якорі жүргісі квадраты мөлшеріне тура пропорциялы болады;
- электрмагниттердің ішкі магнитопроводпен конструктивтік ерекшеліктерін пайдалану арқылы көтеру күшін алуға болатыны теория жүзінде негізделді, мұнда көтеру күшінің мөлшері С-тәріздес якорьдің жан-жағындағы алаптың өзара байланысымен анықталады.

Жұмыстың нәтижелері:

- тік көлбеу көтергіштің көлбеу трассамен түскендегі баяулау жылдамдығы мен тежегіш күшін анықтаудың аналитикалық формуласы алынды, ол электрмагнитті тежеу жүйесі параметрлерін есептеуге қажет, тежеу күші поездың салмағы мен жылдамдық квадратына пропорциялы болатыны анықталды, бұл көліктің көлденең учаскеден көлбеу учаскеге өтердегі жылдамдығына байланысты, және поездың ұзындығына кері пропорциялы келеді;

- тік көлбеу көтергішті көлбеу трассада тежеу үшін симметриялық қасиетті пайдалану мүмкіндігі дәлелденді. Симметриялық принципті қолдана отырып поезды тоқтату үшін жүргізгішті қосу датчигі тұратын қашықтық анықталды;

- тік көлбеу көтергіштің апатсыз қызмет істеуін қамтамасыз ететін тежегіш жүйесі дайындалды. Поезды тоқтату үшін тежеу құрылғыларының раманы қысуға кететін қажетті күшін анықтайтын аналитикалық формулалар алынды, олар жүк көтеруге тура пропорциялы және тежеу қалыбы мен поезд рамасы арасындағы қажалу коэффициентіне кері пропорциялы болады.

Қолдану саласы – пайдалы қазбаларды ашық қазып алу тәсілімен өндіретін кен кәсіпорындары, мұнай өңдеу кәсіпорындары.

Техникалық ұсыныстар мен зерттеу нәтижелері мұнай құятын цистерналарды тазалау технологиясын әзірлеуде қолдануға алынды. Бір стансасының экономикалық тиімділігі есебі жылына 13,05 млн теңге болады.

SUMMARY

Of the thesis of Tkachenko Oksana Nikolayevna on the subject “Development of Technical Means of Accident-Free Delivery of Rocks with Steeply Inclined Lift From Deep Open-Cast Mines”, submitted for an academic degree of candidate of technical sciences by the specialty 05.05.06 – Mining Equipment

Increase of depth of mining operations poses new requirements to the mining and transport equipment. Efficiency of application of traditional kinds of mine transport – railway and vehicles is sharply reduced at the mining depth more than 150-200 m.

In view of constantly increasing labor intensity of mining and transport operations along with the deepening of open-cast mines, and associated complexification of mining and geological and mining and technical conditions, the provision of the required productivity of mining companies at the simultaneous reduction of costs for transportation of the useful mineral from deep horizons becomes an important issue.

Perspective technical solution is the creation of steeply inclined lifts made on the basis of conveyors which is a transport in the form of flexible system of carriers with load carrying surface suited for loading of large-sized materials and moving continuously between the loading and discharge terminals.

The objective of the work is the development and justification of rational parameters of technical means for accident-free delivery of the rocks with steeply inclined lift from deep open-cast mines.

The object of the study is the vehicles involved in steeply inclined delivery of the rocks from deep horizons at open mining of minerals.

Methods of the study. The integrated method of the study was accepted for the work including analysis and generalization of the studies and technical solutions performed previously, theoretical and experimental research on physical models. Analytical studies are connected with the establishment of regularities and justification of rational parameters using the methods of mathematical analysis, theoretical mechanics, theory of machines and mechanisms and experimental: with the creation of physical models and their study using the measuring devices.

The major scientific provisions to be defended:

- For breaking or stopping the empty steeply inclined lift in the course of descending into the open-cast mine, electromagnetic drives can be used operating for the lift of the loaded gang; at that, effort developed by the electromagnetic drive for braking is directly proportional to the squared speed of the gang's entry to the inclined site and inversely proportional to the length of the gang; a sensor of electromagnetic drive is located in the direction of the descending gang at the distance equal to the half-length of the electromagnet minus the thickness of the butt magnetic conductor;

- Actuation time of the brake electromagnet with the stop is determined by the traveling time of the armature in the electromagnet till the stop which is in direct proportion to magnetizing force (IW) and the squared value of the armature stroke of the brake electromagnet;

- The possibility of achievement of elevating power due to the use of structural particularities of the electromagnets with internal magnetic conductor is theoretically justified; at that, the value of the elevating power is determined by the relation of areas of sides of C-shaped armature interacting with the magnetic field of the electromagnet.

Results of the work:

- Analytical expressions for determination of the deceleration rate and the braking effort at the descending of the steeply inclined lift along the steep route have been derived which are necessary for calculation of parameters of the braking systems; at that, it was established that the braking effort is proportional to the weight of the gang and squared speed that the gang had at the moment of transition from the horizontal site to the inclined section of the route and is inversely proportional to the gang's length;

- Possibility of the braking of the steeply inclined lift at the descending along the steep route with the use of particular property of the linear electromagnets - symmetric property has been proven. To implement the braking of the gang with the use of the symmetric principle of the tractive effort of electromagnetic drives, the distance was determined at which the position sensor has to be installed for switching the drive for implementation of such a work;

- The braking system has been developed ensuring the accident-free operation of the steeply inclined lift. Analytical expressions have been derived for determination of the needed compression force by the braking devices of the gang's frame for its stoppage which is in direct proportion to the load capacity and is inversely proportional to the friction coefficient between the brake block and gang's frame.

Field of application: mining companies using the open-cut method of mining of mineral resources, oil processing companies.

Technical proposals and results of the study are recommended and accepted for application at the development of the treatment technology of oil cisterns. Estimated economic effect only for one treatment station amounts to 13,05 million tenge a year.