

На правах рукописи

**САДЫКОВ ЕГОР ЛЕОНИДОВИЧ**

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МНОГОКАНАТНЫХ  
НАКЛОННЫХ ПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВОК**

Специальность 05.05.06 – «Горные машины»

**АВТОРЕФЕРАТ**

**диссертации на соискание ученой степени**

**кандидата технических наук**

**Екатеринбург - 2011**

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО  
«Уральский государственный горный университет».

Научный руководитель -  
доктор технических наук, доцент                      Попов Юрий Владимирович

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор                      Кожушко Герман Георгиевич  
кандидат технических наук, доцент                      Трифанов Геннадий Дмитриевич

Ведущая организация – ОАО «Научно-исследовательский и проектный институт обогащения и механической обработки полезных ископаемых «Уралмеханобр», г. Екатеринбург

Защита состоится 5 октября 2011 г. в 10 часов 00 минут на заседании диссертационного совета Д 212.280.03 при ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет» в зале заседаний Ученого совета по адресу: 620144, г. Екатеринбург, ГСП, ул. Куйбышева, 30.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет».

Автореферат разослан «22» августа 2011 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
д.т.н., профессор

М.Л. Хазин

## Общая характеристика работы

**Актуальность темы.** Состояние экономики страны во многом зависит от повышения эффективности горнодобывающей промышленности, в связи с этим развитие горно-шахтного машиностроения в настоящее время должно быть направлено по пути приоритетного создания и выпуска более производительных и менее энергоёмких горных машин.

При разработке пластовых месторождений наиболее простым способом их вскрытия является проведение наклонной шахты непосредственно по телу полезного ископаемого. Наклонные подъёмные установки на таких месторождениях получили весьма широкое распространение.

Вскрытие наклонной шахтой имеет свои достоинства и недостатки. К достоинствам относят попутную выдачу полезного ископаемого, относительную дешевизну, невысокую опасность пересечения водоносных слоёв в свите горного массива и др. К основным недостаткам наклонных стволов шахт следует отнести повышенный износ подъёмного каната и недостаточную производительность подъёма полезного ископаемого.

Задача повышения производительности наклонного подъёма на современном этапе требует кардинальных мер, заключающихся в разработке и внедрении инновационных технологических схем, отвечающих требованиям современного горнодобывающего производства.

Транспортная проблема – одна из самых серьёзных для глубоких карьеров, из которых в настоящее время добывается до 90 % минерального сырья. Ухудшение технико-экономических показателей добычи минерального сырья при увеличении глубины карьера зависит главным образом от затрат на транспортные операции.

Одним из наиболее эффективных видов карьерного транспорта является наклонная подъёмная установка, обладающая рядом преимуществ перед конвейерным и автомобильным видами транспорта.

Несмотря на очевидные достоинства, карьерные наклонные подъёмные установки не получили широкого распространения. Это связано с рядом факторов, ограничивающих их эффективность. В первую очередь, к ним относится недостаточная грузоподъёмность и как следствие этого – низкая производительность подъёма.

Рост популярности многоканатного подъёма на крупнейших горнодобывающих предприятиях мира подтверждает его преимущество перед одноканатными установками, а появление схем с наземным расположением подъёмных машин делает идею создания многоканатной наклонной подъёмной установки технически возможной. Такая установка теоретически должна обеспечить необходимую грузоподъёмность.

В силу особенностей конструкции многоканатной подъёмной машины и устройства наклонного подъёма, возникает необходимость в дополнительных теоретических и практических исследованиях в этой области. По результатам этих исследований можно будет однозначно судить

о возможности создания энергетически эффективной многоканатной наклонной подъёмной установки с достаточно высоким КПД.

Настоящая работа посвящена обоснованию параметров многоканатных наклонных подъёмных установок при осуществлении высокопроизводительного подъёма. Также приводятся исследования в области улучшения условий эксплуатации тяговых канатов наклонных подъёмных установок. Применение схем многоканатного наклонного подъёма значительно усугубляет проблему интенсивного износа головных канатов наклонных подъёмных установок. В связи с этим определение и обоснование параметров наклонных подъёмных установок с многоканатными подъёмными машинами является актуальной научной задачей.

**Объект исследования** - многоканатная наклонная подъёмная установка с наземным расположением подъёмной машины.

**Предмет исследования** – технические параметры многоканатных наклонных подъёмных установок.

**Цель работы** – повышение грузоподъёмности наклонных подъёмных установок за счёт применения многоканатных подъёмных машин.

**Основная идея работы** – улучшение технических характеристик наклонных подъёмных установок за счёт применения многоканатных подъёмных машин.

#### **Методы исследования**

В ходе выполнения работы применялись методы, базирующиеся на принципах классической математики и механики.

#### **Научные положения, выносимые на защиту:**

1. Регулируемое уравнивание многоканатной наклонной подъёмной установки позволяет привести движущее усилие на органе навивки к гармоническому виду.

2. Наименьшая допустимая величина уравнивающего усилия должна быть равна его максимальному значению по условию давления на футеровку приводного шкива в начальный момент движения подъёмных сосудов.

3. Зависимость коэффициента неуравновешенности подъёмной системы от её максимальной грузоподъёмности позволяет оценить влияние технических параметров многоканатной наклонной подъёмной установки на область её эксплуатации.

4. Интенсивность износа головных канатов наклонной подъёмной установки зависит от момента инерции канатоподдерживающих роликов.

#### **Научная новизна диссертационной работы**

1. Выведено аналитическое уравнение для определения необходимого уравнивающего усилия, развиваемого дополнительной приводной станцией, создающей это усилие.

2. Разработана методика построения номограмм для оценки влияния параметров многоканатной наклонной подъёмной установки на её максимальную грузоподъёмность.

3. Получена функциональная зависимость времени проскальзывания головного каната по путевым роликам в момент его набегания.

4. Разработана методика расчёта натяжного усилия на органе навивки дополнительной приводной станции.

5. Дополнена методика расчёта результирующего движущего усилия на приводном шкиве трения, что позволяет учитывать усилия, создаваемые дополнительной приводной станцией многоканатной наклонной подъёмной установки.

### **Практическое значение работы**

1. Предложены показатели: «необходимый коэффициент трения» и «необходимое давление на футеровку», позволяющие оценить достаточность физических свойств материала футеровки для осуществления подъёма с заданными техническими параметрами.

2. Получены номограммы, отражающие зависимость максимальной грузоподъёмности многоканатной наклонной подъёмной установки от степени её неуравновешенности.

3. Разработана конструкция малоинерционного канатоподдерживающего ролика.

4. Разработаны рекомендации по снижению интенсивности износа тяговых канатов наклонной подъёмной установки за счёт применения малоинерционных канатоподдерживающих роликов.

5. Разработано устройство и получено положительное решение на полезную модель многоканатной наклонной подъёмной установки с дополнительной приводной станцией, осуществляющей уравнивание системы подъёма.

**Обоснованность и достоверность** научных положений, выводов и рекомендаций обеспечивается корректностью полученных математических выражений, подтверждаемых исследованием экспериментальных моделей, полученных с использованием систем компьютерного трёхмерного твёрдотельного моделирования, их адекватностью по известным критериям оценки изучаемых процессов, использованием известных фундаментальных положений теоретической механики, а также соответствием полученных теоретических результатов результатам исследований других авторов.

**Личный вклад соискателя.** Методики определения величины и закона изменения регулируемого уравнивающего усилия, а также определения рациональных параметров и степени их влияния на область эксплуатации многоканатных наклонных подъёмных установок разработаны лично автором.

**Апробация работы:** Результаты работы, ее основные положения были обсуждены и одобрены на заседаниях кафедры горной механики ФГБОУ ВПО «УГГУ», на Международной научно-технической конференции

«Чтения памяти В.Р. Кубачека», 2009-2010 гг. (Екатеринбург, УГГУ), Неделе горняка 2009-2011 гг. (Москва, МГГУ), Международном научно-промышленном симпозиуме "Уральская горная школа – регионам", 2009 г. (Екатеринбург, УГГУ), Всероссийской научно-технической конференции «Нефтегазовое и горное дело», 2010 г. (Пермь, ПГТУ).

**Публикации:** По теме диссертации опубликовано 7 работ, в т.ч. 2 – в ведущих рецензируемых научных изданиях.

**Структура и объем диссертационной работы:** Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, библиографического списка из 96 наименований и трех приложений. Содержит 130 страниц машинописного текста, 4 таблицы и 34 рисунка.

**В главе 1** выполнен анализ работ по теории современных канатных наклонных подъемных установок, описано состояние исследований в области повышения эффективности, создания и совершенствования многоканатных наклонных подъемных установок с наземным расположением подъёмных машин, приведено состояние исследований в области уменьшения износа канатов при взаимодействии с канатоподдерживающими роликами.

**В главе 2** приведены аналитические исследования в области уравнивания наклонных подъёмных установок, описание схемы уравновешенной наклонной подъёмной установки с дополнительной приводной станцией, а также вывод основного динамического уравнения для многоканатной карьерной подъёмной установки с дополнительной приводной станцией.

**В главе 3** приведено обоснование рациональных параметров многоканатной наклонной подъёмной установки с дополнительной приводной станцией и установки без дополнительного уравнивания, разработаны и обоснованы параметры малоинерционных канатоподдерживающих роликов, предлагаемых в работе.

**В главе 4** представлены результаты исследования канатоподдерживающих роликов наклонных подъёмных установок и технико-экономическая оценка результатов выполненных исследований. Разработаны программа для определения уравнивающего усилия дополнительной приводной станции многоканатной наклонной подъёмной установки и программа для получения номограмм, отражающих степень влияния параметров многоканатной наклонной подъёмной установки на её максимальную грузоподъёмность.

**В заключении** обобщены результаты исследований и даны рекомендации по повышению эффективности эксплуатации комплексов многоканатных наклонных подъемных установок, а также улучшению условий эксплуатации головных канатов наклонного подъёма.

## ОСНОВНЫЕ ЗАЩИЩАЕМЫЕ НАУЧНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

### **1. Регулируемое уравнивание многоканатной наклонной подъёмной установки позволяет привести движущее усилие на органе навивки к гармоническому виду.**

Анализ возможности применения канатоведущих шкивов трения на наклонных подъёмных установках при различных типах подъёмных сосудов и углах наклона пути подъёма подтверждает, что применение опрокидных скипов в наклонных подъёмных установках с приводными шкивами трения и без нижнего уравнивающего каната невозможно. Это связано с тем, что в наиболее опасный момент подъёмной операции, при движении порожнего опрокидного скипа по разгрузочным кривым, менее половины его веса действует на натяжение порожней ветви подъёмной установки. Таким образом, в этот момент разность натяжений гружёной и порожней ветвей значительно увеличивается, и как следствие усугубляется опасность проскальзывания тяговых канатов по приводным шкивам трения.

Что касается установок со скипами с донной разгрузкой и разгрузкой через заднюю стенку, то их эксплуатация возможна при трёх- и двухобхватных шкивах трения.

В результате проведённых в работе исследований предложена и запатентована полезная модель многоканатной наклонной подъёмной установки с дополнительной приводной станцией (рис. 1).

Предлагаемая модель уравнивающей многоканатной наклонной подъёмной установки состоит из приводных шкивов трения с наземным расположением, копровых шкивов, расположенных на разгрузочной эстакаде, тяговых головных канатов, скиповых подъёмных сосудов для наклонных подъёмных установок, рельсовых путей с канатоподдерживающими роликами, дополнительной приводной станции с двухбарабанным органом навивки и тягового уравнивающего стального каната круглого сечения.

Применение многоканатной схемы позволяет при высокой грузоподъёмности значительно уменьшить массу и габаритные размеры электромеханического оборудования подъёмной установки, а также строительных сооружений (подъёмной машины, копровых шкивов, редуктора, здания подъёмной машины, фундаментов и несущих конструкций копра и эстакады), что приводит к снижению капитальных затрат на её сооружение.

В рассматриваемой схеме наклонной подъёмной установки (см. рис. 1) уравнивание достигается тем, что установка снабжена дополнительной приводной станцией 1, состоящей из двух барабанных органов навивки с дополнительными тяговыми уравнивающими канатами 2 и общим приводом, расположенной ниже положения подъёмных сосудов при их загрузке. В качестве дополнительной приводной станции

может использоваться двухбарабанная подъёмная машина с однослойной или многослойной навивкой уравновешивающего каната.

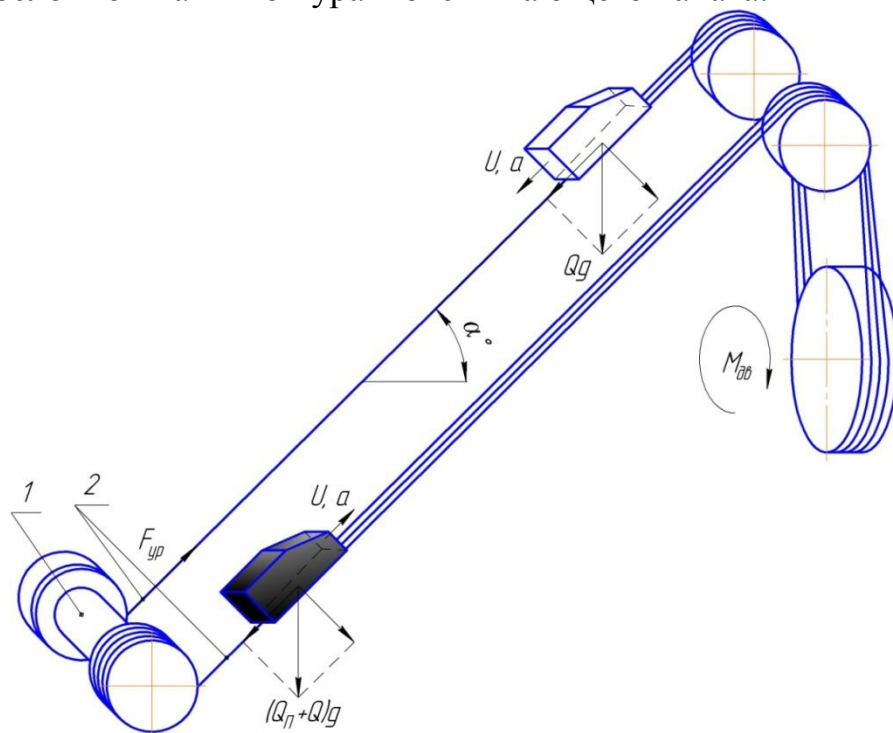


Рис. 1. Модель уравновешенной многоканатной карьерной подъёмной установки с дополнительной приводной станцией

Таким образом, предлагаемая схема подъёмной установки позволяет производить уравновешивание порожней ветви путём создания управляемого усилия натяжения тягового уравновешивающего каната, независимо от положения подъёмного сосуда.

Основное динамическое уравнение для определения результирующего усилия на окружности приводного шкива рассматриваемой подъёмной установки будет иметь вид:

$$F_d = F_{т.г} - F_{т.п} - F_{уп} + k_n \cdot Q \cdot g + m_n a, \quad (1)$$

где  $F_{т.г}$  - сила тяжести со стороны гружёной ветви, Н;  $F_{т.п}$  - сила тяжести со стороны порожней ветви, Н;  $Q$  - масса груза в подъёмном сосуде, кг;  $g$  - ускорение свободного падения на поверхности Земли, м/с<sup>2</sup>;  $m_n$  - приведённая масса к окружности шкива трения, кг;  $a$  - ускорение подъёмной системы, м/с<sup>2</sup>;  $k_n$  - коэффициент сопротивления движению при наклонном подъёме;  $F_{уп}$  - натяжное усилие, создаваемое дополнительной приводной станцией со стороны порожней ветви, Н.

Величина и закон изменения усилия, создаваемого дополнительной приводной станцией, зависят от ряда ограничивающих факторов. С одной стороны, увеличение уравновешивающего усилия приводит к повышению удельного давления головных канатов на футеровку приводного шкива, с другой – недостаточная величина уравновешивающего усилия приведёт к проскальзыванию головных канатов по футеровке приводных шкивов.

Таким образом, искомое уравнивающее усилие, создаваемое дополнительной приводной станцией, должно находиться в области решения системы неравенств:

$$\begin{cases} F_{\text{уп}} \leq \delta \cdot D \cdot d \cdot n \cdot 10^6 - (F_{\Gamma} + F_{\Pi}) \\ F_{\text{уп}} \geq \left( \frac{F_{\Gamma} \cdot \mu_{\text{д}}}{e^{\beta f} - 1 + \mu_{\text{д}}} \right) - F_{\Pi}, \end{cases} \quad (2)$$

где  $D$  – диаметр приводного шкива трения, м;  $d$  – диаметр головного каната, м;  $\delta$  – допускаемое давление на футеровку, МПа;  $F_{\Gamma}$  – натяжение головных канатов со стороны грузёной ветви, Н;  $F_{\Pi}$  – натяжение головных канатов со стороны порожней ветви, Н;  $f$  – коэффициент трения между шкивом и канатом;  $\beta$  – угол обхвата шкива канатом, рад;  $\mu_{\text{д}}=1,25$  – коэффициент безопасности против скольжения.

Верхнее неравенство системы (2) определяет область возможных значений  $F_{\text{уп}}$  по условию допустимого давления на футеровку приводного шкива, нижнее – по условию непроскальзывания головных канатов.

Если учитывать, что неоправданное завышение уравнивающего усилия значительно повлияет на размеры и как следствие на стоимость подъёмной установки, то появляется необходимость в стремлении к минимизации его значения. За закон изменения уравнивающего усилия в этом случае можно принять нижнюю границу области решения системы неравенств (2). Тогда

$$F_{\text{уп}} = \left( \frac{F_{\Gamma} \cdot \mu_{\text{д}}}{e^{\beta f} - 1 + \mu_{\text{д}}} \right) - F_{\Pi}. \quad (3)$$

При этом необходимо помнить, что величина  $F_{\text{уп}}$  не должна превышать значения границы по условию допустимого давления на футеровку приводного шкива.

Трёхпериодная тахограмма усилий, рассчитанная для рассматриваемой многоканатной наклонной подъёмной установки, представлена на рис. 2. Если дополнительная приводная станция рассматриваемой подъёмной установки не создаёт уравнивающего усилия, т. е.  $F_{\text{уп}} = 0$ , то уравнение (1) примет вид основного динамического уравнения для определения результирующего усилия на окружности приводного шкива подъёмной установки, полученного М. М. Фёдоровым. В данном случае этим уравнением будет определяться усилие на окружности навивки приводного шкива трения без уравнивания со стороны дополнительной приводной станции. На графике (см. рис. 2) представлено расчётное значение этого усилия функцией  $F_{\text{ну}}(t)$ , в зависимости от времени подъёмной операции. Разброс значений  $F_{\text{ну}}(t)$  в начальный и конечный периоды подъёма, а также разность натяжения головных канатов со стороны грузёной и порожней

ветвей столь велики, что выполнение подъёмной операции в данных условиях невозможно.

Расчётные значения уравнивающего усилия, создаваемого дополнительной приводной станцией, и его граничного значения представлены зависимостями  $F_{yp}(t)$  и  $F_{rp}(t)$  соответственно.

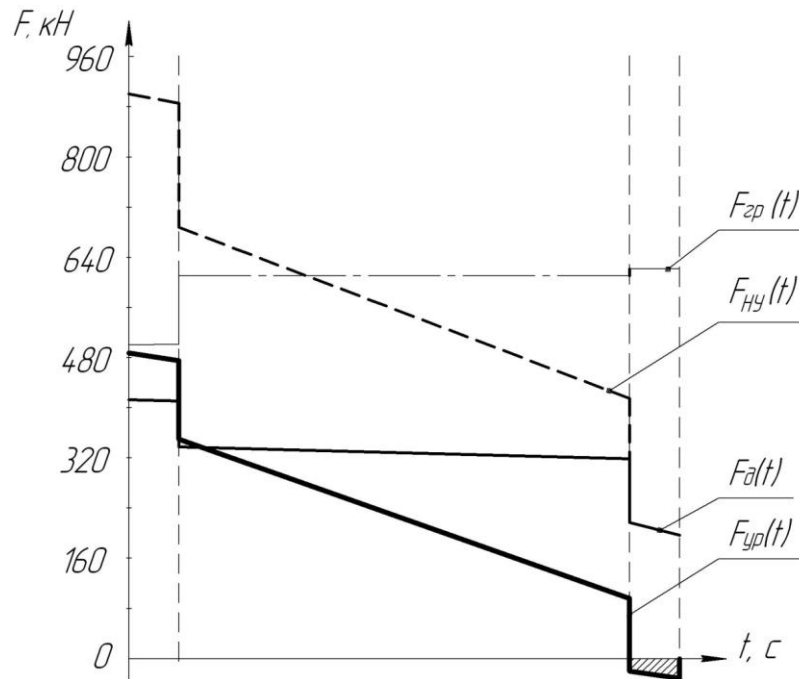


Рис. 2. Трёхпериодная тахограмма усилий

Как видно из уравнения (1), для того чтобы определить величину результирующего усилия на внешней окружности подъёмной машины, необходимо в каждый момент времени от значения  $F_{нч}(t)$  отнять значение  $F_{зп}(t)$ . Полученная зависимость  $F_{д}(t)$  не превышает границы по условию давления головных канатов на футеровку приводного шкива, а характер  $F_{д}(t)$  приближается к гармоническому виду. Таким образом, можно сделать вывод о состоятельности первого научного положения.

**2. Наименьшая допустимая величина уравнивающего усилия должна быть равна его максимальному значению по условию давления на футеровку приводного шкива в начальный момент движения подъёмных сосудов.**

Наличие дополнительной приводной станции в схеме наклонного подъёма позволяет поддерживать величину разности натяжений со стороны грузёной и порожней ветвей в пределах допустимого значения. Таким образом, удаётся избежать проскальзывания головных канатов по футеровке приводного шкива, независимо от массы груза в грузёном подъёмном сосуде. Максимальная грузоподъёмность такой ПУ при этом ограничивается мощностью привода, прочностными характеристиками канатов и механизмов

подъёмной установки, а также допустимым давлением головных канатов на футеровку канатоведущего шкива трения. Во время работы рассматриваемой подъёмной установки дополнительная приводная станция создаёт натяжение головных канатов со стороны порожней ветви, что ведёт к увеличению давления на футеровку приводного шкива трения. При этом чем выше грузоподъёмность ПУ, тем большее натяжение должна создавать дополнительная приводная станция.

Представим каждое неравенство системы (2) отдельными функциями от положения подъёмного сосуда:

$$F_{\text{гр}}(x) = \delta \cdot D \cdot d \cdot n \cdot 10^6 - (F_{\text{г}} + F_{\text{п}}); \quad (4)$$

$$F_{\text{ур}}(x) = \left( \frac{F_{\text{г}} \cdot \mu_{\text{д}}}{e^{\beta f} - 1 + \mu_{\text{д}}} \right) - F_{\text{п}}. \quad (5)$$

Функция  $F_{\text{ур}}(x)$  является функцией минимального необходимого дополнительного уравновешивающего усилия, а функция  $F_{\text{гр}}(x)$  будет являться верхней границей этого усилия. Обе функции находятся в зависимости от множества параметров рассматриваемой подъёмной установки. Для обеспечения эффективной работы подъёма необходимо определить наиболее рациональное сочетание как эксплуатационных, так и конструктивных параметров. Учитывая характер изменения зависимостей (4) и (5), можно сделать вывод, что наилучшим сочетанием уравновешивающего усилия (с точки зрения его минимизации) и параметров подъёмной установки (от которых зависит удельное давление каната на футеровку шкива) будет такое сочетание, при котором в начальный момент движения подъёмных сосудов уравновешивающее усилие и его граничное значение, рассчитанные по вышеприведённым зависимостям, будут равны (рис. 3). Т. е. графики этих усилий должны исходить из одной точки в момент начала подъёмной операции (т. е. при  $x=0$ ):

$$F_{\text{гр}}(0) = F_{\text{ур}}(0) \quad (6)$$

или

$$\delta \cdot D \cdot d \cdot n \cdot 10^6 - (F_{\text{г}} + F_{\text{п}}) = \left( \frac{F_{\text{г}} \cdot \mu_{\text{д}}}{e^{\beta f} - 1 + \mu_{\text{д}}} \right) - F_{\text{п}}. \quad (7)$$

Из выражения (7) можно выделить группу «необходимых» свойств материала футеровки, при которых будет обеспечиваться работоспособность подъёмной установки, например: необходимый коэффициент трения или необходимое давление на футеровку приводного шкива.

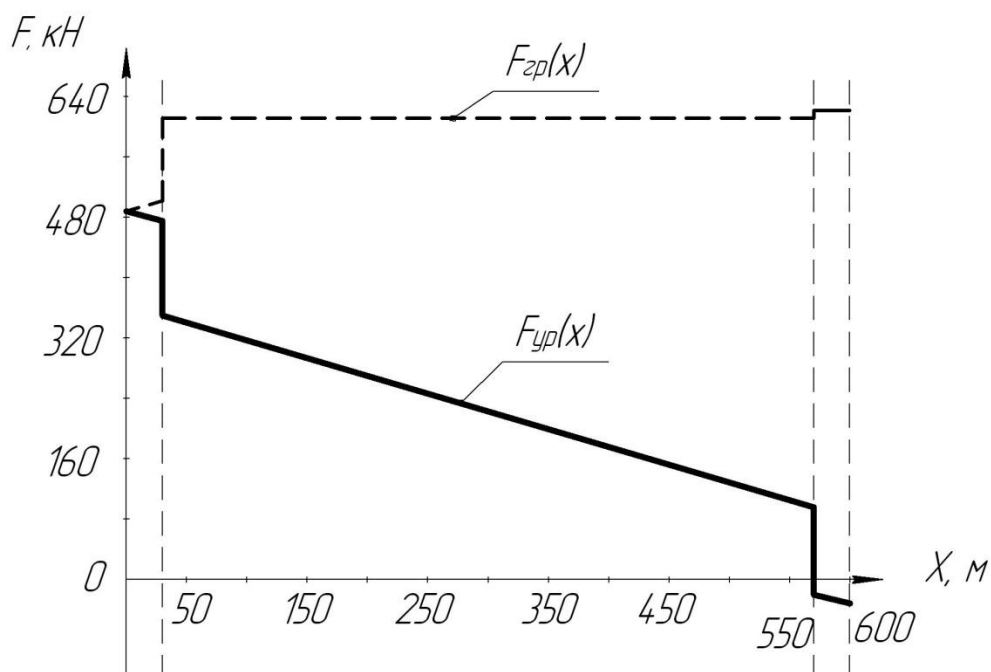


Рис. 3. Зависимость дополнительного уравнивающего усилия от положения подъемного сосуда для трёхпериодного режима работы подъемной установки

**3. Зависимость коэффициента неуравновешенности подъемной системы от её максимальной грузоподъёмности позволяет оценить влияние технических параметров многоканатной наклонной подъемной установки на область её эксплуатации.**

В результате проведённых исследований была разработана и запатентована полезная модель наклонной многоканатной подъемной установки без дополнительной приводной станции (рис. 4).

В предлагаемой установке общий угол обхвата на трёх канатоведущих шкивах (двух дополнительных и одном основном) составляет около  $3,2\pi$ , при пяти перегибах головных канатов, что обеспечивает повышение тяговой способности каната и долговечность его эксплуатации.

Установка функционирует следующим образом:

При включении приводных шкивов трения 6, 7, 8 в работу один из подъемных сосудов 2 (гружёный) начинает подниматься вверх, а другой (порожний) - опускаться вниз, т. е. осуществляется подъемная операция. Головные канаты поднимающейся ветви при этом огибают отклоняющий копровый шкив 4, дополнительный приводной шкив 7 и основной приводной шкив 6. Головные канаты опускающейся ветви огибают дополнительный приводной шкив 8 и отклоняющие шкивы 5.

Отсутствие уравнивания со стороны порожней ветви ПУ может значительно ограничить её максимальную грузоподъёмность из-за опасности проскальзывания канатов по приводным шкивам.

При определении максимальной грузоподъёмности неуравновешенной многоканатной наклонной подъемной установки на стадии проектирования

придётся решить сложную многокомпонентную задачу с целью принятия оптимального решения при выборе схемы подъёма.

Наиболее простым решением, с точки зрения уменьшения трудоёмкости производства расчётов, будет получение номограмм, отражающих зависимость максимальной грузоподъёмности подъёмной системы от степени её неуравновешенности, с учётом ограничений по условию непроскальзывания головных канатов по приводным шкивам трения, а также допустимого удельного давления на футеровку приводного шкива.

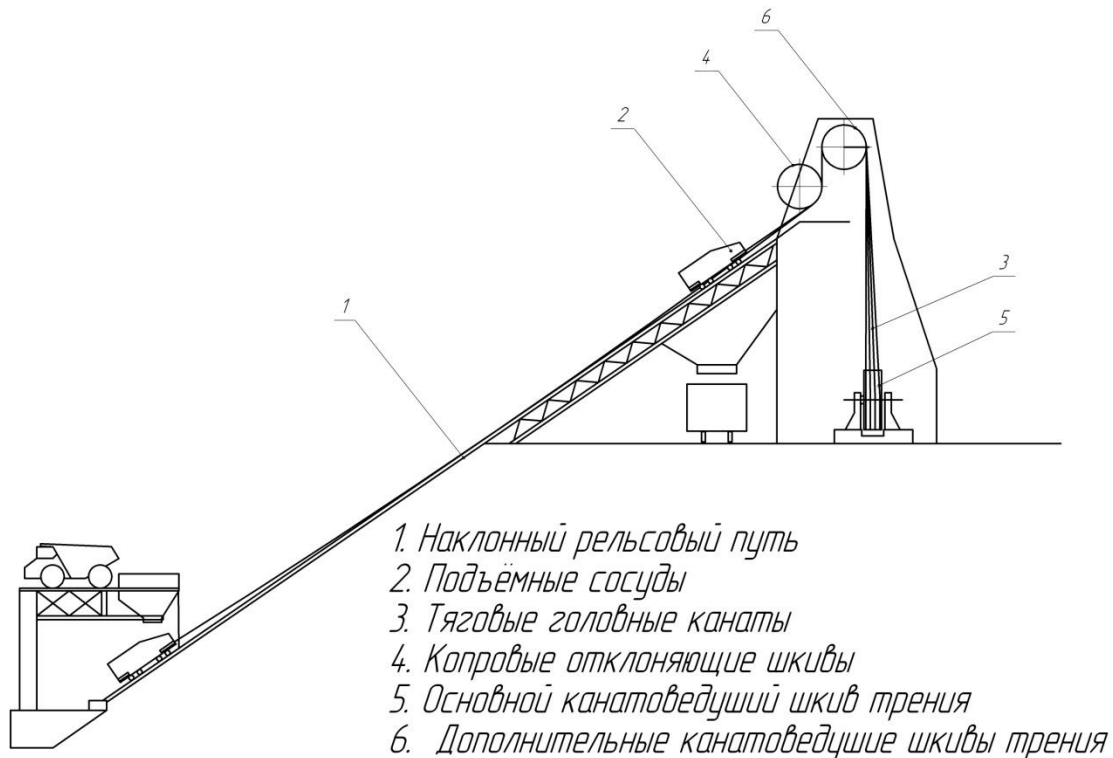


Рис. 4. Схема многоканатной наклонной подъёмной установки без дополнительной приводной станции

Степень неуравновешенности подъёмной системы во многом характеризуется отношением расчётного движущего усилия к силе тяжести полезного поднимаемого груза, называемым коэффициентом неуравновешенности  $\tau_p$ .

Выражая значение  $\tau_p$  из условия непроскальзывания, получим неравенство, отражающее значение неуравновешенности подъёмной системы для обеспечения условия непроскальзывания головных канатов по приводным шкивам ПУ:

$$\frac{F_{\Pi} (e^{f\beta} - 1)}{\mu_d \cdot Q \cdot g} \geq \tau_p. \quad (8)$$

Аналогичным образом, выражая  $\tau_p$  из неравенства, отражающего условие непревышения допустимого давления канатов на футеровку, получим:

$$\frac{\delta \cdot D \cdot d \cdot n \cdot 10^6 - 2F_{\text{п}}}{Q \cdot g} \geq \tau_p. \quad (9)$$

Представим оба неравенства в виде функций  $\tau_1 Q$  и  $\tau_2 Q$  соответственно и найдём их графические решения (рис. 5).

Максимальная грузоподъёмность данной подъёмной установки, согласно неравенствам (8) и (9), может находиться не выше обеих зависимостей  $\tau_1 Q$  и  $\tau_2 Q$  и не ниже значения  $\tau = 1$  (так как отношение движущего усилия к силе тяжести полезного груза неуравновешенной подъёмной установки в момент начала подъёмной операции не может быть меньше единицы).

Таким образом, область эксплуатации рассматриваемой подъёмной установки – это область, ограниченная тремя графиками:  $\tau_1 Q$ ,  $\tau_2 Q$  и  $\tau_3(Q) = 1$  (см. рис. 5).

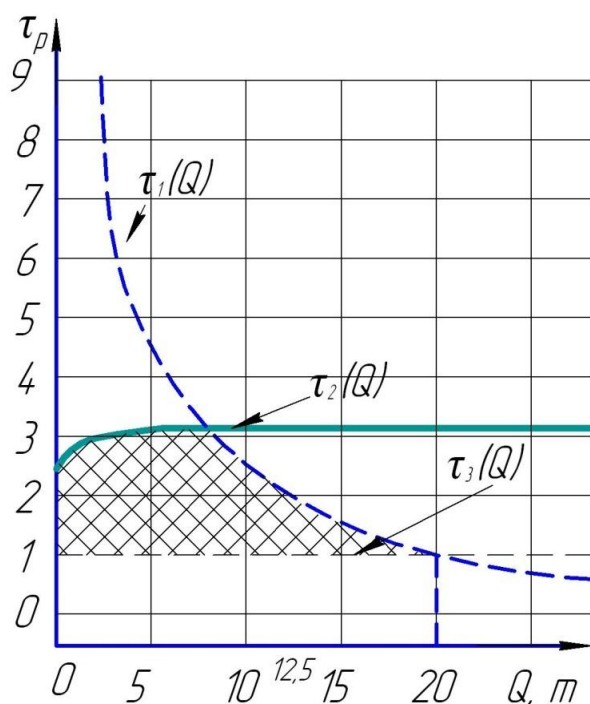


Рис. 5. Определение максимальной грузоподъёмности многоканатной неуравновешенной подъёмной установки

Из рис. 5 видно, что максимальная грузоподъёмность рассматриваемой многоканатной подъёмной установки при заданных технических и эксплуатационных параметрах может достигать 20 т, если коэффициент неуравновешенности подъёмной системы будет равен 1 (что крайне затруднительно без дополнительных уравнивающих устройств). Если коэффициент неуравновешенности подъёмной системы будет  $\tau_3 = 2$ , то

максимальная грузоподъемность рассматриваемой подъемной установки не будет превышать 12,5 т.

Таким образом, для определения влияния технических параметров многоканатной наклонной подъемной установки на её максимальную грузоподъемность, в зависимости от коэффициента  $\tau_p$ , можно использовать номограммы, полученные расчётным путём.

#### **4. Интенсивность износа головных канатов наклонной подъемной установки зависит от момента инерции канатоподдерживающих роликов.**

Интенсивный износ головных канатов наклонных подъемных установок обусловлен рядом факторов, разделяемых на устранимые и неустранимые.

К неустранимым факторам относят проскальзывание каната относительно поверхности канатоподдерживающих роликов в момент набегания на них. По данным проводимых исследований, основной причиной разрушения канатов в этом случае является образование хрупкого слоя мартенсита на поверхности проволок, составляющих подъемный канат. Образование мартенсита происходит в результате пластических и упругих деформаций в металле каната при проскальзывании по поверхности ролика. Интенсивность образования мартенсита, а значит и износа канатов, в значительной степени зависит от прижимного усилия и температуры при проскальзывании каната по поверхности ролика.

Зная конструкцию, размеры и материал канатоподдерживающего ролика, а также линейную массу головного каната, можно получить выражение, определяющее характер взаимодействия каната с роликом, при набегании на последний.

Из полученной таким образом зависимости можно определить относительную скорость проскальзывания, а также прижимное усилие соприкасающихся поверхностей каната и ролика (рис. 6).

Если известен закон изменения прижимного усилия в зависимости от времени, а также период и путь проскальзывания при трении двух поверхностей, легко определить работу, затрачиваемую на преодоление сил трения при набегании каната на ролик.

Эта работа будет затрачена на нагрев, абразивный износ и образование мартенсита в поверхностном слое проволок каната, вызывая скорейший его износ.

Для оптимизации условий взаимодействия пары канат - ролик необходимо минимизировать относительное проскальзывание их поверхностей. С этой целью предлагается существенно усовершенствовать конструкцию роликов, тем самым сведя к минимуму затраты, возникающие вследствие износа каната и роликов при их взаимодействии, а также уменьшить вредное сопротивление движению подъемной установки.

Если канатоподдерживающий ролик сделать наборным из нескольких независимых дисков, расположенных на одной оси вращения, то момент инерции вращающихся частей ролика при набегании каната уменьшится в разы, за счёт изменения формы и уменьшения массы вращающихся частей ролика.

А значит, ускорение точки на окружности такого ролика в момент набегания на него каната будет больше, чем у роликов традиционной конструкции.

Графики зависимости скорости относительного перемещения точки на поверхности ролика традиционной и предлагаемой конструкции и каната в момент его набегания на ролик представлены на рис. 6.

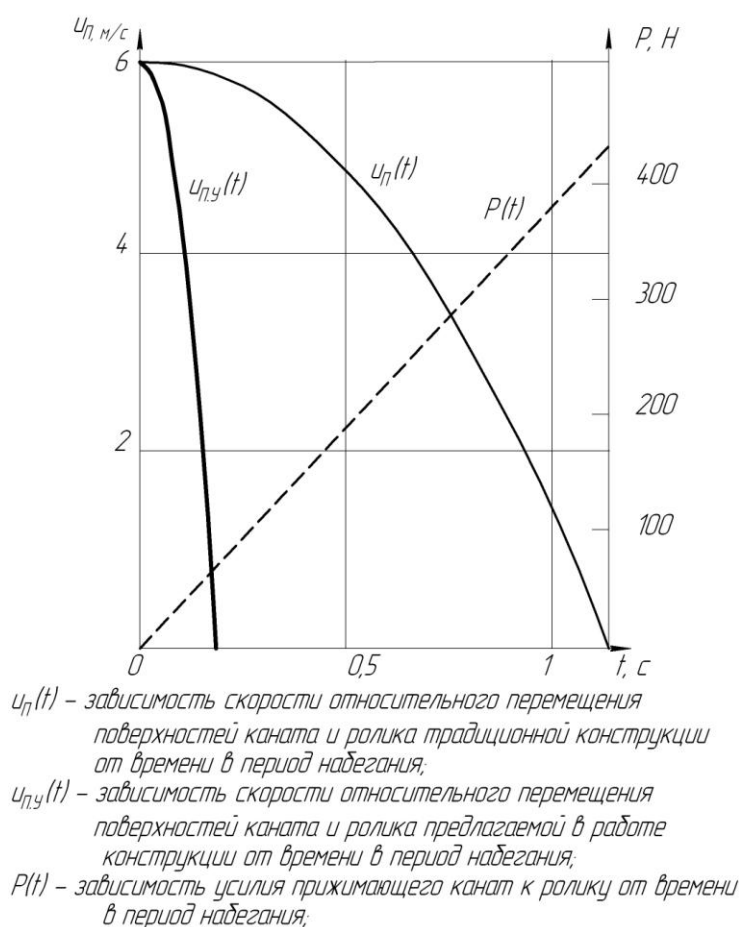


Рис. 6. Зависимость скорости перемещения точки на поверхности ролика традиционной и предлагаемой конструкции относительно каната в момент его набегания на ролик.

Теоретически оценить влияние конструкции ролика на износ канатов можно по отношению энергии, затрачиваемой на преодоление сил трения между канатом и поверхностью ролика за время их относительного проскальзывания в момент набегания. При этом необходимо учитывать длину участка каната, подверженного износу:

$$\frac{A_{\text{тр1}} \cdot L_{\text{изн2}}}{A_{\text{тр2}} \cdot L_{\text{изн1}}} = k_{\text{изн}} \quad (10)$$

Таким образом, влияние малоинерционных роликов предлагаемой конструкции на интенсивность износа канатов по энергетическим показателям более чем в 40 раз ниже, чем ролика традиционной конструкции.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации, являющейся законченной научно-квалификационной работой, на основании выполненных исследований в области наклонных подъемных установок шахт и карьеров дано новое техническое решение актуальной задачи повышения эффективности работы комплексов наклонных подъемных установок горных предприятий и обоснования их основных параметров при применении многоканатных канатоподдерживающих шкивов трения в качестве подъемной машины, что позволяет повысить технико-экономические показатели этих установок.

Выполненные исследования дают основание сделать следующие выводы:

1. Установлено, что регулируемое уравнивание многоканатной наклонной подъемной установки позволяет привести движущее усилие на органе навивки к гармоническому виду.
2. Разработана методика и получено уравнение для определения величины и закона изменения уравнивающего усилия, создаваемого дополнительной приводной станцией наклонного подъема или иным устройством, способным обеспечить регулируемое уравнивающее усилие.
3. Разработаны методики и пакеты прикладных программ для расчёта параметров многоканатных наклонных подъемных установок, а также рекомендации по использованию малоинерционных канатоподдерживающих роликов, переданные в ОАО «СУБР».
4. Получена функциональная зависимость времени проскальзывания головного каната по путевым роликам в момент его набегания.
5. В результате проведённых исследований разработана полезная модель многоканатной подъемной установки для карьерных наклонных подъемов, способной обеспечить высокую грузоподъемность.
6. В результате проведённых исследований разработана полезная модель многоканатной наклонной подъемной установки без уравнивающего устройства.
7. Разработана и обоснована конструкция малоинерционных канатоподдерживающих роликов для наклонных подъемных установок.

## **Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах**

Статьи, опубликованные в ведущих рецензируемых научных журналах, входящих в перечень ВАК:

1. Садыков Е.Л. Уравновешивание наклонных подъемных установок // Известия вузов. Горный журнал. 2010. № 8. С. 113–117.
2. Садыков Е.Л. Возможность возникновения резонанса при работе многоканатных подъемных установок // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2010. № 4. С. 73.

Статьи, опубликованные в других изданиях:

3. Садыков Е.Л., Попов Ю.В. Исследование и разработка канатоподдерживающих роликов повышенной надёжности для наклонных подъемных установок // Научные исследования и инновации. 2011. № 5. С. 169-172.
4. Садыков Е.Л. Оптимизация условий эксплуатации каната наклонной подъемной установки // Международный научно-промышленный симпозиум "Уральская горная школа - регионам" (г. Екатеринбург, 21-28 апреля 2009 г.). Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2009. С. 129.
5. Тимухин С.А., Попов Ю.В., Садыков Е.Л. Проблемы повышения эффективности шахтных многоканатных подъемных установок с наземным расположением подъемных машин // Известия Уральского государственного горного университета. Выпуск № 24. 2010. С. 51-59.
6. Попов Ю.В., Тимухин С.А., Садыков Е.Л. О методике прогнозирования общего ресурса комплексов шахтных подъемных установок // VII Международная научно-техническая конференция «Чтения памяти В.Р. Кубачека» (г. Екатеринбург, 23-24 апреля 2009 г.): материалы конференции. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2009. С. 116-119.
7. Попов Ю.В., Садыков Е.Л. Особенности проектирования многоканатной подъемной установки с двумя и более подъемными машинами на одном башенном копре // Уральская горнопромышленная декада (г. Екатеринбург, 14-23 апреля 2008 г.): материалы декады. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2008. С. 333.

Подписано в печать 8.08.2011.

Формат 60x84 1/16. Печать на ризографе.

Печ. л. 1,0. Тираж 100. Заказ

Издательство УГГУ

620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30. Уральский государственный  
горный университет.

Отпечатано с оригинал-макета в лаборатории множительной техники  
издательства УГГУ.