

*Попов Юрий Владимирович
проф., д.т.н.*

*Косарев Николай Петрович
проф., д.т.н.*

*Уральский государственный горный университет
г. Екатеринбург*

О ВОЗМОЖНОСТИ УРАВНОВЕШИВАНИЯ КАРЬЕРНЫХ НАКЛОННЫХ ПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВОК

ABOUT COUNTERBALANCE POSSIBILITY OF THE OPEN HIT INCLINED ELEVATING INSTALLATIONS

Рост производительности горной промышленности требует разрешения проблемы интенсификации работы рудничных подъемных установок с целью повышения их производительности. Достичь поставленной цели можно за счёт увеличения скорости движения подъемной системы или за счёт увеличения её грузоподъемности.

Результатом конструктивных и научных изысканий в этой области стало множество разработанных и реализованных систем вертикального подъема с энергетическим эффектом уравнивания.

Идея уравнивания наклонных подъемных установок интересна, прежде всего, тем, что уравнивание позволяет обеспечить высокопроизводительный подъем установками большой грузоподъемности, в энергетически эффективном режиме работы. Такие установки могут успешно эксплуатироваться, в качестве ключевого звена в комбинированной транспортной системе на открытых горных работах [1].

Наиболее рациональной, с точки зрения, уменьшения массогабаритных показателей электромеханического оборудования при обеспечении высокой грузоподъемности будет многоканатная подъемная установка.

На современном этапе развития горной промышленности всё большее развитие получают многоканатные подъемные установки с канатоведущими шкивами трения расположенными на уровне земли. Для многоканатного карьерного подъема такая схема является вообще единственно возможной.

В связи с этим, разработано и разрабатывается множество новых схем уравновешенных наклонных подъемных установок отчасти решающих поставленную задачу, но не лишенных серьезных недостатков [2, 3].

Исследуем одну из предлагаемых полезных моделей на предмет определения оптимального режима работы такой установки (см. рис. 1).

Рассматриваемая модель уравновешенной многоканатной наклонной подъёмной установки [4] 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 уравновешивающего стального каната круглого сечения.

В данной схеме уравновешивание достигается тем, что установка снабжена дополнительной приводной станцией 1, состоящей из двух барабанных органов навивки с дополнительными тяговыми уравновешивающими канатами 2 и общим приводом, расположенной ниже положения подъёмных сосудов при их загрузке (см. рис.1). В качестве дополнительной приводной станции может использоваться двухбарабанный подъёмная машина с однослойной или многослойной навивкой уравновешивающего каната. Уравновешивающее усилие будет складываться из силы тяжести уравновешивающего каната, а также из силы натяжения создаваемого дополнительной приводной станцией.

$$F_{ур.общ} = F_{ур} + (L - x) \cdot q \cdot g \cdot \sin(\alpha), \quad (1)$$

где $F_{ур.общ}$ - общее уравновешивающее усилие, Н; $F_{ур}$ - сила натяжения, создаваемая дополнительной приводной станцией, Н; x - путь, пройденный подъёмным сосудом, м; L - длина пути транспортирования, м; g - ускорение свободного падения на поверхности земли, м/с²; q - линейная масса уравновешивающего тягового каната, кг/м; α - угол наклона пути транспортирования, рад.

Таким образом, предлагаемая схема подъёмной установки (см. рис.1) позволяет производить уравновешивание гружёной и порожней ветви путём создания управляемого усилия натяжения со стороны порожней ветви, независимо от положения подъёмного сосуда. Эта особенность является основным и очевидным преимуществом рассматриваемой схемы уравновешенного карьерного подъёмника, по отношению к наиболее близким известным, до последнего времени, моделям.

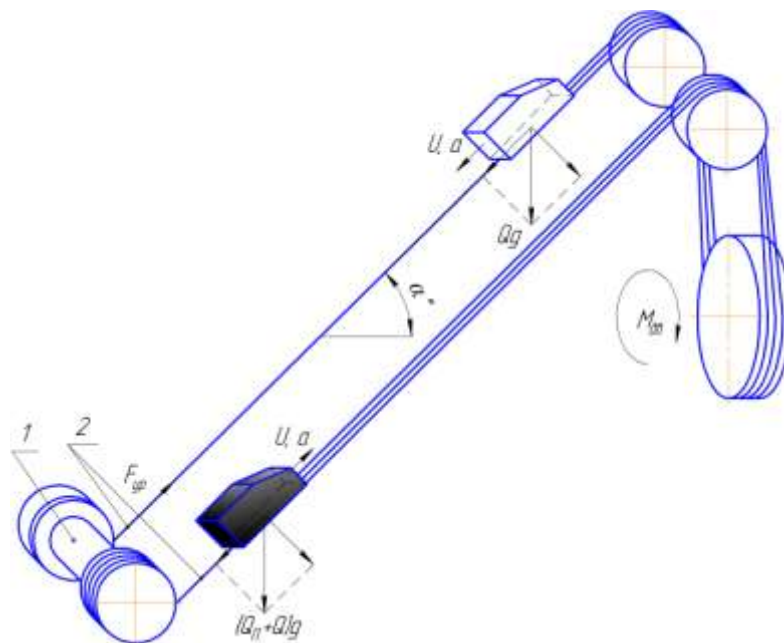


Рис.1. Модель уравновешенной многоканатной карьерной подъёмной установки с дополнительной приводной станцией.

Преобразуем известное выражение основного динамического уравнения для подъёмной установки, в соответствии с конструктивными особенностями рассматриваемой полезной модели (рис.1).

Тогда основное динамическое уравнение будет иметь вид:

$$F_{\ddot{a}} = F_{\ddot{a}} - F_{\ddot{i}} - F_{\ddot{0\delta}} + k_i \cdot Q \cdot g + m_i \cdot a. \quad (2)$$

Где $F_{\ddot{a}}$ усилие со стороны грузёной ветви.

$$F_{\ddot{i}} = (Q_{II} + Q + (L - x)p + qx)g \cdot \sin \alpha. \quad (3)$$

Где p – линейная масса головного каната кг/м; q – линейная масса хвостового каната кг/м; x – путь пройденный подъёмным сосудом, м.

Усилие со стороны порожней ветви определится из выражения:

$$F_{\ddot{ii}} = (Q + (L - x)q + px)g \cdot \sin \alpha; \quad (4)$$

Уравновешивающее усилие, развиваемое приводной станцией, призвано компенсировать статическое неравенство в грузёной и порожней ветвях подъёмной установки. С другой стороны, чем больше величина создаваемого усилия, тем выше энергетические затраты (т.к. дополнительная станция имеет электрический привод) и давление на футеровку канатоведущего шкива. Увеличение уравновешивающего усилия также приводит к повышению удельного давления головных канатов на футеровку приводного шкива.

Допускаемое давление на футеровку канатоведущего шкива не должно быть больше $\delta = 2,5$ МПа. Таким образом, можно выделить первый ограничительный фактор уравновешивающего усилия создаваемого

дополнительной приводной станцией – по допускаемому давлению на футеровку.

Математически его можно выразить из уравнения для определения фактического давления канатов на футеровку:

$$\delta \geq \frac{N_{\Gamma} + N_{\Pi} + F_{VP}}{D_{\text{ш}} \cdot d \cdot n \cdot g \cdot 10^5} \quad (5)$$

Где: N_{Γ} – натяжение головных канатов со стороны грузёной ветви, Н; N_{Π} – натяжение головных канатов со стороны порожней ветви, Н; F_{VP} – Усилие натяжения хвостовых канатов, создаваемое дополнительной приводной станцией, Н.

Таким образом, ограничительный фактор уравнивающего усилия запишется в следующем виде:

$$F_{VP} \leq \delta \cdot D \cdot d \cdot n \cdot g \cdot 10^5 - (N_{\Gamma} + N_{\Pi}). \quad (6)$$

Где: D – диаметр приводного шкива трения, м; d – диаметр головного каната, м; δ – допускаемое давление на футеровку, МПа.

Проскальзывание головных канатов по футеровке приводных шкивов многоканатной подъёмной установки относится к аварийным явлениям и считается недопустимым при работе установки в нормальном режиме.

Существующие на сегодняшний день методики расчета, предлагают оценивать вероятность опасности проскальзывания канатов с помощью коэффициента безопасности против скольжения. Его величина определяется как отношение максимального значения силы трения на окружности навивки, к разности натяжений в грузёной и порожней ветвях подъёмной установки:

$$\frac{(N_{\Pi} + F_{VP})(e^{f\beta} - 1)}{N_{\Gamma} - N_{\Pi} - F_{VP}} \geq \mu_{\delta}, \quad (7)$$

Второй ограничивающий фактор (по условию нескольжения головных канатов по футеровке приводного шкива) можно выделить из выражения (7):

$$F_{VP} \geq \left(\frac{N_{\Gamma} \cdot \mu_{\delta}}{e^{f\beta} - 1 + \mu_{\delta}} \right) - N_{\Pi} \quad (8)$$

Где: f – коэффициент трения между шкивом и канатом; β – угол обхвата шкива канатом, рад $\mu_{\delta} = 1,25$ – коэффициент безопасности против скольжения.

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

$$\begin{cases} F_{VP} \leq \delta \cdot D_{\text{ш}} \cdot d_{\Gamma} \cdot n_{\Gamma} \cdot g \cdot 10^5 - (N_{\Gamma} + N_{\Pi}) \\ F_{VP} \geq \left(\frac{N_{\Gamma} \cdot \mu_{\delta}}{e^{f\beta} - 1 + \mu_{\delta}} \right) - N_{\Pi} \end{cases} \quad (9)$$

Если же учитывать, что неоправданное завышение уравновешивающего усилия значительно повлияет на размеры, и, как следствие, на стоимость подъёмной установки, то появляется необходимость в стремлении к минимизации его значения. За закон изменения уравновешивающего усилия, в этом случае, можно принять нижнюю границу области решения системы неравенств (9).

Тогда:

$$F_{yp} = \left(\frac{N_{\Gamma} \cdot \mu_{\delta}}{e^{\beta x} - 1 + \mu_{\delta}} \right) - N_{\Pi}. \quad (10)$$

Представим уравнение 10 и неравенство 6 отдельными функциями от положения подъёмного сосуда.

$$F_{GP}(x) = \delta \cdot D_{ш} \cdot d_{\Gamma} \cdot n_{\Gamma} \cdot g \cdot 10^5 - (N_{\Gamma} + N_{\Pi}) \quad (11)$$

$$F_{\delta\delta}(\delta) = \left(\frac{N_{\bar{A}} \cdot \mu_{\bar{a}}}{\bar{a}^{\alpha_{1,2,3}} - 1 + \mu_{\bar{a}}} \right) - N_{\bar{I}}, \quad (12)$$

Где функция $F_{GP}(x)$ является верхней границей уравновешивающего усилия создаваемого дополнительной приводной станцией.

Превышение уравновешивающего усилия над этой границей приведёт к увеличению давления каната на футеровку выше допустимого значения.

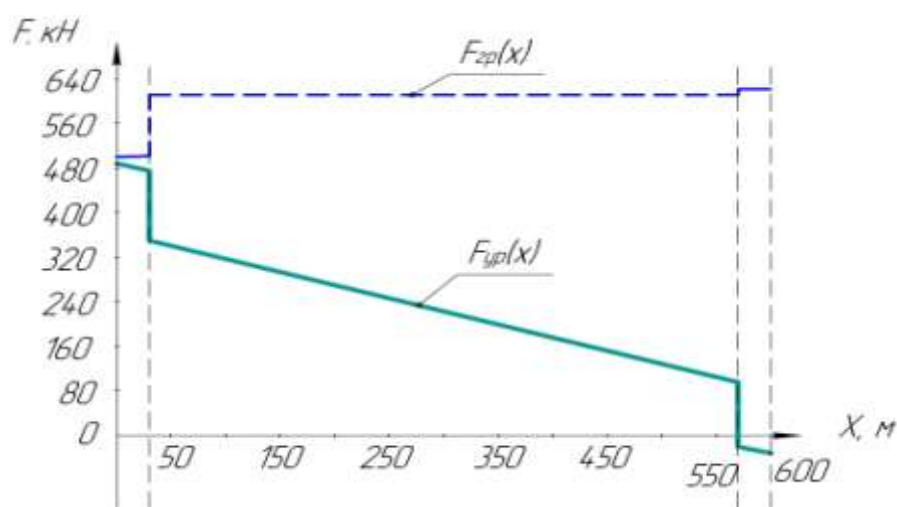


Рис. 2. Зависимость дополнительного уравновешивающего усилия от положения подъёмного сосуда для трёхпериодного режима работы подъёмной установки

Из приведённых графиков (рис. 2.) видно, что уравновешивающее усилие, создаваемое дополнительной приводной станцией (для схемы по рис. 1.) должно находиться в пределах приведённых зависимостей. При этом, наибольшее уравновешивающее усилие необходимо создавать в начале подъёмной операции, что подтверждается основами теории расчёта

рудничного подъёма, а давление канатов на футеровку шкива трения в этот момент должно быть минимальным.

Заключение

1. Наличие дополнительной приводной станции, расположенной согласно схемы, представленной на рис. 1, позволяет осуществить многоканатный наклонный подъём с использованием скипов высокой грузоподъёмности.

2. Приложение дополнительного уравновешивающего усилия со стороны порожней ветви подъёма во время подъёмной операции позволяет избежать опасности проскальзывания головных канатов по приводному шкиву трения.

Литература

1. Носырев Б.А. Схемы карьерных наклонных подъёмных установок, их оценка и области применения. // Труды Свердловского горного института. Вып. 97. – 1972. – с. 3 – 6.

2. Попов Ю.В. Новые возможности карьерных подъёмников. Горный информационно-аналитический бюллетень. – М.: Изд. «Горная книга», 2009. – Отдельный выпуск №16. – С. 322-325.

3. Быков В.Л. Многоканатные подъёмные установки с канатоведущими шкивами для глубоких карьеров. // Изв.вузов. Горный журнал, 1969. – № 4. – С. 124-130.

4. Попов Ю.В., Тимухин С.А., Садыков Е.Л. Многоканатная наклонная подъёмная установка. / Патент № 107286 Дата регистрации в Росреестре 10.08.2011.

Аннотация

Приводится анализ возможности увеличения эксплуатационных показателей наклонного карьерного подъёма за счёт применения уравновешенных многоканатных подъёмных установок.

The analysis of possibility of increase in operational indicators of inclined career lifting at the expense of application of the counterbalanced multirope elevating installations is resulted.

Ключевые слова

уравновешивание, подъёмная установка, шкивы трения, карьер, подъёмник, приводная станция, канат, гружёная ветвь, статическое равновесие

counterbalance, elevating installation, friction pulleys, open pit, the lifting apparatus, drive head, cable rope, loaded branch, standing balance