© Е.К. Едыгенов, М.В. Панферов, 2006

УДК 621.869.88:622.271

Е.К. Едыгенов, М.В. Панферов

КРУТОНАКЛОННЫЙ ПОДЪЕМНИК С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПРИВОДОМ ДЛЯ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ

Семинар № 16

Развитие горнодобывающей промышленности направлено на расширение разработок месторождений полезных ископаемых открытым способом.

Наряду с ростом числа горных предприятий с открытым способом дальнейшее повышение добычи полезных ископаемых связано с разработкой более глубоких горизонтов. За последние 10-15 лет уже достигнута глубина карьеров от поверхности 250-300 м, проектами предус-матриваются углубления карьеров до 500-600 м.

С ростом глубины отработки месторождения растут затраты на транспортирование горной массы и ее себестоимость. Доля расходов на карьерный транспорт в общей стоимости добычи полезного ископаемого в настоящее время составляет 50 %, достигая на глубоких карьерах 70 %.

Эффективность использования традиционных видов карьерного транспорта – железнодорожного и автомобильного – резко снижается при глубинах 150-200 м.

Серьезную конкуренцию этим транспортным средствам при отработке глубоких карьеров составят конвейерные поезда (КП), которые состоят из ряда ходовых тележек с грузонесущим полотном для перевозки горной массы и перемещаются по направляющим рельсам под действием тяговых приводов, размещенных стационарно вдоль трассы, от пункта погрузки к пункту разгрузки [1].

Опыт эксплуатации за рубежом и исследования, проводимые в ИГД им А.А. Скочинского, ИГТМ АН Украины, ИГД им. Д. Кунаева и других институтах, показывают, что к достоинствам конвейерных поездов относятся высокая производительность, ритмичность подачи материалов в приемный бункер, возможность доставки породы непосредственно с места добычи без перегрузки на значительные расстояния при малых радиусах кривых как в горизонтальной, так и вертикальной плоскостях, допускают уклоны до 40° при минимальных радиусах закругления (до 25 м), поэтому могут применятся на извилистых и наклонных трассах. В сравнении с железнодорожным и автомобильным транспортом КП позволяют сократить расстояние доставки в 3– 5 раз и обеспечить скорость движения до 5–10 м/с. В транспортную систему «конвейерный поезд» легко вводить дополнительные рабочие поезда, что позволяет регулировать производительность системы в широком диапазоне.

Однако следует отметить, что грузонесущее полотно конвейерных поездов не приспособлено для транспортирования горной массы под большим углом.

Поэтому для использование этих поездов в качестве крутонаклонных подъемников необходимо внести изменения в конструкцию поезда, позволяющие обеспечить сохранение горной массы на грузонесущем полотне при больших уклонах (до 40^0–45^0).

Большой опыт конструктивных разработок грузонесущих полотен имеет место при создании крутонаклонных ленточных конвейеров.

Удержание груза на грузонесущем полотне конвейера от самопроизвольного движения его вниз под действием силы тяжести при больших углах подъема осуществляется за счет [2]:

- увеличения коэффициента сцепления транспортируемого груза с поверхностью грузонесущего полотна;
- создания подпора для транспортируемого груза специальными подпорными элементами;
- повышения нормального давления транспортируемого груза на грузонесущее полотно или полотна на груз, а также комбинацией этих способов.

Конвейеры, угол подъема которых может быть увеличен за счет повышения коэффициента сцепления транспортируемого груза с грузонесущим полотном имеют ленты с рифами, с невысокими перегородками, со специальными фрикционными покрытиями. Они просты по конструкции и не имеют существенных конструктивных отличий от стандартных ленточных конвейеров.

Конвейера с подпорными элементами - это конвейеры с привулканизированными к ленте перегородками и гофрированными бортами, перегородками и бортами, прикрепленными механическим способом, перегородками, установленными на дополнительном накладном контуре, иногда являющимся цепным и тяговым. Конструктивные трудности в создании таких конвейеров связаны с обеспечением устойчивости перегородок, а также необходимостью специальных способов поддержания обратной ветви ленты.

Конструкция ленточных конвейеров, у которых повышение угла подъема достигается увеличением нормального давления насыпного груза на грузонесущее полотно или полотна на груз, в наибольшей степени могут обеспечить крутонаклонное транспортирование горной массы.

К ним относятся конвейера с прижимной лентой, позволяющие перемещать горную массу под большим углом и иметь трассу, изгибающуюся в вертикальной плоскости.

Фиксация перевозимого груза к грузонесущему полотну наиболее действенное средство при крутонаклонном транспортировании и использование прижимных устройств позволяет устранить перемещение груза относительно грузонесущего полотна.

Применительно к конвейерным поездам разработано устройство, позволяющее полностью перекрыть грузонесущее полотно посредством специальных закрылков с приращением и упругих элементов, осуществляющих дополнительное прижатие горной массы к грузонесущему полотну [3].

Для этого в конвейерном поезде, состоящем из ходовых тележек, перемещающихся по рельсам, и расположенного на них грузонесущего лотка с бортами, к бортам грузонесущего лотка шарнирно соединены упругие гармоникообразные в продольном направлении дополнительные борта, которые выполнены из двух шарнирно соединенных звеньев, между шарнирными соединениями которых закреплены упругие элементы. Дополнительные борта со стороны противоположной шарнирному соединению снабжены замковыми эле-

ментами и направляющими роликами, которые перемещаются по копиру, размещенному вдоль трассы в зоне погрузки и разгрузки над грузонесущим полотном.

При движении конвейерного поезда в зоне погрузки направляющие ролики, перемещаясь по копиру, стягивают с обоих бортов грузонесущего лотка упругие гармоникообразные дополнительные борта, которые при этом растягиваются и перекрывают тем самым верхнее межбортовое пространство лотка. При этом, упругие элементы расположенные между шарнирными соединениями звеньев дополнительных бортов будут прижимать дополнительные борта гармоникообразной поверхностью к грузу, что позволяет зафиксировать груз на лотке и не дать ему смещаться относительно дна лотка при крутонаклонном транспортировании. При этом, все верхнее межбортовое пространство лотка конвейерного поезда будет перекрыто, что предотвратит пылевыделение и потерю груза в процессе транспортирования.

Кроме этого, известно, что в зависимости от применяемых взрывных работ выход негабарита составляет от 5 % до 15 % от общей массы отбитой породы, поэтому для предотвращения смещения горной массы вдоль поверхности грузонесущего полотна при крутонаклонном транспортировании предлагается загрузка рядовой горной массы и негабаритов на грузонесущее полотно поочередно, т.е при загрузке конвейерного поезда негабариты раскладываются на определенном расстоянии друг от друга вдоль грузонесущего полотна, а между ними укладывается более мелкие фракции, в результате чего обжатые и зафиксированные негабариты будут выполнять роль естественных перегородок.

Для реализации этого способа крутонаклонного транспортирования горной массы необходимо определить усилия объемного сжатия крупных кусков транспортируемой горной массы, обеспечивающей жесткую фиксацию негабарита к грузонесущей поверхности.

Постановка задачи.

По наклонной поверхности (под углом α) под действием силы F(t) перемещается со скоростью v транспортное средство с массой m и грузонесущей поверхностью, на которой размещен груз массой M (рисунок). На транспортное средство действует сила сопротивления $P = f_1 \cdot g\ (m+M)$, а коэффициент трения груза о грузонесущую поверхность равен f_2. Необходимо определить характер перемещения груза по поверхности грузонесущего полотна, после чего установить необходимое усилие для фиксации груза.

Поскольку речь идет о фиксации практически крупного куска, то в этом случае горную массу рассматриваем как распределенную нагрузку.

Система имеет две степени свободы, Выберем обобщенные координаты: $q_1 = x$, $q_2 = s$. При этом неподвижная ось x связана с транспортным средством, а подвижная ось s с грузом.

Уравнение Лагранжа запишутся в виде

$$\frac{d}{dt}\frac{\partial t}{\partial x} - \frac{\partial T}{\partial x} = Q_x, \quad \frac{d}{dt}\frac{\partial t}{\partial s} - \frac{\partial T}{\partial s} = Q_s. \qquad (1)$$

Вычисление обобщенных сил дает:

$$\begin{aligned} Q_x &= F(t) - (Q_{тр} + Q_{кп}) - P_1, \\ Q_s &= P_2 - Q_{тр} \cdot \sin\alpha. \end{aligned} \qquad (2)$$

Кинетическая энергия системы равна $T = T_{кп} + T_{гр}$, где $T_{кп}$ кинетическая энергия конвейерного поезда, равная

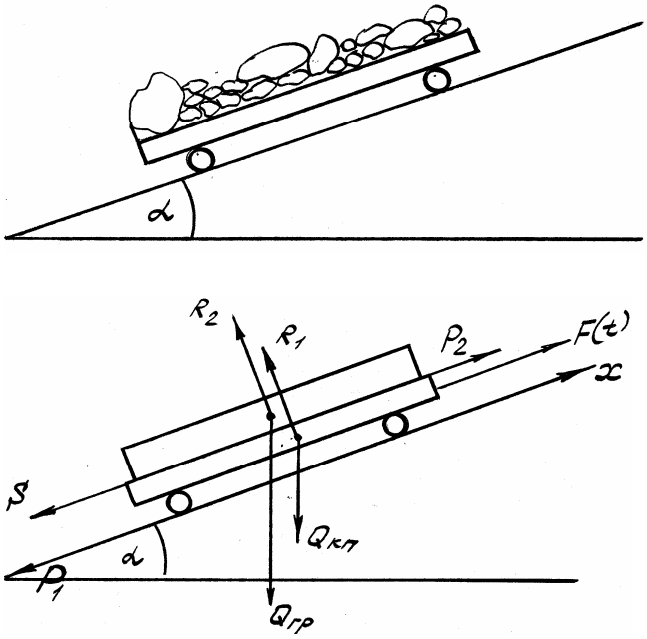

Схема расположения груза и действующих сил

$$T_{кп} = \frac{Q_{ар} + Q_{кп}}{2g}\dot{x}^2,$$

а $T_{гр}$ – кинетическая энергия груза имеет вид:

$$T_{ар} = \frac{1}{2g}Q_{ар}v_{ар}^2 = \frac{Q_{ар}}{2g}(\dot{x} + \dot{s})^2.$$

Тогда кинетическая энергия системы будет иметь вид после некоторых преобразований:

$$T = \frac{2Q_{ар} + Q_{кп}}{2g}\dot{x}^2 + \frac{Q_{ар}}{2g}\dot{s}^2 - \frac{Q_{ар}}{g}\dot{x}\dot{s} \quad (3)$$

Подставляя (2) и (3) в (1), получим систему дифференциальных уравнений второго порядка

$$\frac{2Q_{ар} + Q_{кп}}{g}\ddot{x} - \frac{Q_{ар}}{g}\ddot{s} = -(Q_{ар} + Q_{кп})\sin\alpha +$$
$$+F(t) - f_1(Q_{ар} + Q_{кп})\cos\alpha; \quad (4)$$
$$\ddot{s} - \ddot{x} = g(f_2\cos\alpha - \sin\alpha).$$

Поскольку интерес представляет перемещение груза на грузонесущем полотне, то из второго уравнения системы (4)

$$\ddot{x} = \ddot{s} - g(f_2\cos\alpha - \sin\alpha). \quad (5)$$

Подставляя (5) в первое уравнение (4), получим после некоторых преобразований

$$\ddot{s} - \frac{g}{Q_{ар} + Q_{кп}}F(t) =$$
$$= -g(\sin\alpha + f_1\cos\alpha) +$$
$$+\frac{g(2Q_{ар} + Q_{кп})}{Q_{ар} + Q_{кп}} \times$$
$$\times(f_2\cos\alpha - \sin\alpha) \quad (6)$$

Тяговое усилие электромагнитного привода можно в первом приближении представить в виде гармонической функции вида F(t) = Asin(ωt) и тогда решая уравнение (6) методом разделения переменных при t = 0, $\dot{s}$ = 0, s = 0, получим

$$\dot{s} = c_1 - gt[(\sin\alpha + f_1\cos\alpha) +$$
$$+\frac{(2Q_{ар} + Q_{кп})}{Q_{ар} + Q_{кп}}(f_2\cos\alpha - \sin\alpha)] -$$
$$-\frac{gA\omega}{Q_{ар} + Q_{кп}}\cos(\omega t),$$
$$s = c_1 t + c_2 - \frac{gt^2}{2}[(\sin\alpha + \cos\alpha) + \quad (7)$$
$$+\frac{2Q_{ар} + Q_{кп}}{Q_{ар} + Q_{кп}}(f_2\cos\alpha - \sin\alpha)] -$$
$$-\frac{gA\omega^2}{Q_{ар} + Q_{кп}}\cos(\omega t).$$

При выбранных начальных условиях

$$c_1 = \frac{g}{Q_{ар} + Q_{кп}},\ c_2 = 0.$$

Задача состоит в том, что требуется определить усилие сжатия, при котором

груз не будет при любом t перемещаться по грузонесущему полотну, т.е. s = 0.

Тогда, приравнивая правую часть уравнения (7) нулю, t = 1, ω = 0,5π, осуществляя элементарные алгебраические преобразования, найдем, при каком значении коэффициента f_2 это равенство выполняется:

$$f_2 = \left(\frac{Q_{ар} + Q_{кп}}{2Q_{ар} + Q_{кп}} + 1\right)\sin\alpha + f_1\frac{Q_{ар} + Q_{кп}}{2Q_{ар} + Q_{кп}} + \frac{A\pi}{2Q_{ар} + Q_{кп}}. \quad (8)$$

Необходимое усилие сжатия груза определится из выражения

$$P_{сж} = f_2 Q_{гр}^{у} \sin\alpha, \text{ Н}. \quad (9)$$

Выражения (8) и (9) позволяют определять необходимое усилие прижатия негабарита к грузонесущему полотну так, чтобы он играл роль перемычки и не позволял более мелкому грузу перемещаться относительно полотна. Поскольку негабариты располагаются вдоль полотна на определенном расстоянии друг от друга, то на перемычку будет воздействовать только груз, лежащий между перемычками весом $Q_{гр}^{у}$.

Расчеты показывают, что при длине ходовой тележки, равной 2 м, усилие, необходимое для фиксации груза, лежащего на этой тележке, не превышает 4,5 кН при угле подъема - 45^0. При этом следует отметить, что при расчете необходимого усилия фиксации грузонесущая поверхность принималась гладкой. Использование шевронов или невысоких перегородок позволит снизить усилие сжатия, однако в этом случае могут возникнуть сложности с очисткой грузонесущего полотна от налипшей или смерзшейся породы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Едыгенов Е.К.* Основы теории конвейерных поездов с электромагнитным приводом для открытых горных работ. Алматы: Фонд «XX век», 2001. 206 с.
2. *Шешко Е.Е., Картавый А.Н.* Эффективный крутонаклонный конвейерный подъем для карьеров, шахт и перерабатывающих предприятий./Горные машины и автоматика, №6, 2001. С. 35-41.
3. *Конвейерный* поезд Пол. решение на заявку №2004/0511.1 от 12.04.05г. //Едыгенов Е.К., Панферов М.В.

Коротко об авторах

Едыгенов Е.К. – доктор технических наук, заместитель директора по науке,
Панферов М.В. – аспирант,
ИГД им. Д.А. Кунаева.