

Библиографический список

1. Арсентьев А. И. Планирование развития горных работ в карьерах / А. И. Арсентьев, Г. А. Советов [и др.]. – М.: Недра, 1972.
2. Компьютеры и системы управления в горном деле за рубежом / Ю. П. Астафьев, А. С. Зеленский, Н. И. Горлов [и др.]. – М.: Недра, 1989.
3. Капутин Ю. Е. Горные компьютерные технологии и геостатистика / Ю. Е. Капутин. – СПб.: Недра, 2002.
4. www.geovia.com/products/MineSched879
5. kai.ua/ru/products/k-mine
6. Нормы технологического проектирования горнодобывающих предприятий с открытым

способом разработки месторождений полезных ископаемых. Ч. 1. Горные работы. Ликвидация горнодобывающих предприятий. Технико-экономическая оценка и показатели. СОУ-Н МПП 73.020-078-1:2007. Издание официальное. – Киев, Министерство промышленной политики Украины, 2007.

7. Nazarenko M. V. Correlation model of enrichment process creation / M. V. Nazarenko, N. V. Nazarenko // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – Vol. 6.

Поступила 18.04.2016



УДК 622.647.2

Производство

С. О. Попов /д. т. н./, С. И. Малиновская /к. т. н./
Криворожский национальный университет
Г. К. Данилина /к. т. н./,
Ю. А. Малиновский /к. т. н./, С. Н. Козырев
ПАО НИПИ «Механобрчермет»

Некоторые особенности тяговых расчетов конвейерных поездов со стационарными приводами

Конвейерные поезда являются перспективным видом транспорта для применения в глубоких шахтах и карьерах. Рассмотрена конструктивная схема таких поездов и особенности их взаимодействия с путевой структурой. Приведены зависимости для определения производительности, тяговых усилий приводных станций, мощностей для приводных станций, трассы конвейерного поезда, а также приведенной мощности всей системы транспортирования с учетом работы поездов в режимах тяги и толкания. (Ил. 3. Библиогр.: 4 назв.)

Ключевые слова: конвейерный поезд, шахта, карьер, сырье, пневмошинный привод, линейный электродвигатель.

Conveyor trains are a perspective type of transport for application in deep mines and pits. The constructive scheme of such trains and peculiarities of their interaction with traveling structure is considered. Dependences for determination of performance, traction efforts of driving stations, capacities for driving stations, routes of the conveyor train, and also the given capacity of all system of transportation taking into account work of trips in the modes of draft and pushing are given.

Key words: conveyor train, mine, open pit, raw materials, pneumo bussed gear, line electric motor.

Актуальность вопроса

Конвейерные поезда представляют совокупность одноосных вагонеток, установленных на рельсовой путевой структуре, связанных между собой шарнирными сцепками. Для того чтобы конвейерный поезд на путевой структуре был кинематически неизменяемой системой, обычно передняя вагонетка состава выполняется двухосной. Движение таких подвижных составов в большинстве случаев осуществляются за

счет приводов, стационарно установленных на путевой структуре. Такая транспортная система удобна в использовании, потому что исключает наличие контактной сети. При установке приводного двигателя в специальном или взрывобезопасном исполнении конвейерные поезда могут быть применены на горизонтальных и наклонных трассах как угольных, так и рудных шахт, а также как специальный транспорт глубоких карьеров.

Основными параметрами, регламентируемыми для конвейерных поездов промышленных транспортных систем, являются:

- производительность – 1000–2500 т/ч и более;
- дальность транспортирования от 2 до 20 км;
- угол наклона трассы от 0 до 25° и более;
- скорость транспортирования на магистральном участке до 7 м/с;
- скорость при загрузке и разгрузке не более 2 м/с; количество поездов в системе от 3 до 20 (и более);
- крупность транспортируемого груза от 0 до 350 мм.

Такие транспортирующие установки в промышленных условиях могут быть реализованы по системе «Sekkam» (рис. 1) с фрикционными стационарными приводами [1] либо линейными асинхронными двигателями (ЛАД) поступательного движения [2; 3]. Применение ЛАД позволяет ликвидировать сложные приводы с редукторами и электродвигателями вращательного движения (рис. 2).

В зависимости от конкретной технологической схемы работы количество вагонов в поезде может изменяться. Будут различны и тяговые

характеристики конвейерного поезда, которые отсутствуют.

Цель работы

Разработка инженерной методики расчета силовых параметров конвейерных поездов, при движении которых постоянно изменяется количество вагонеток, находящихся как в тяговом, так и в толкающем режимах.

Изложение материалов исследований

Преимуществом рассматриваемой транспортной системы является отсутствие контактной сети вдоль трассы перемещения конвейерного поезда. Поэтому тяговое усилие, развиваемое приводным двигателем, делит весь состав поезда на растянутую и сжатую части.

Рассмотрим некоторые особенности конструкции и работы двигателей ЛАД с целью определения тяговых усилий и мощностей стационарных приводов с ЛАД. Отметим, что привод системы «Sekkam» при наличии надежного сцепления ведущего пневмоколеса и направляющих (для вагонетки) является надежной электромеханической системой, и способ передачи тягового усилия на состав не отличается от поездов с ЛАД.

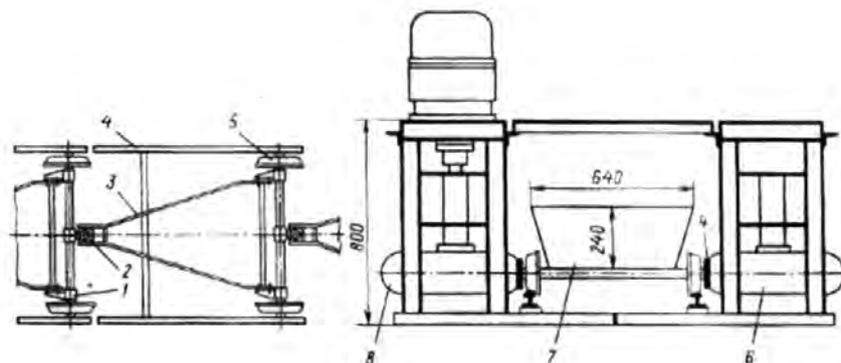


Рис. 1. Конвейерный поезд с фрикционным приводом (система «Sekkam»):

- 1 – ось тележки; 2 – шарнир; 3 – каркас тележки; 4 – продольные балки тележки (тяговый элемент); 5 – каток; 6, 8 – приводные колеса (с мотор-редукторами); 7 – грузонесущий короб

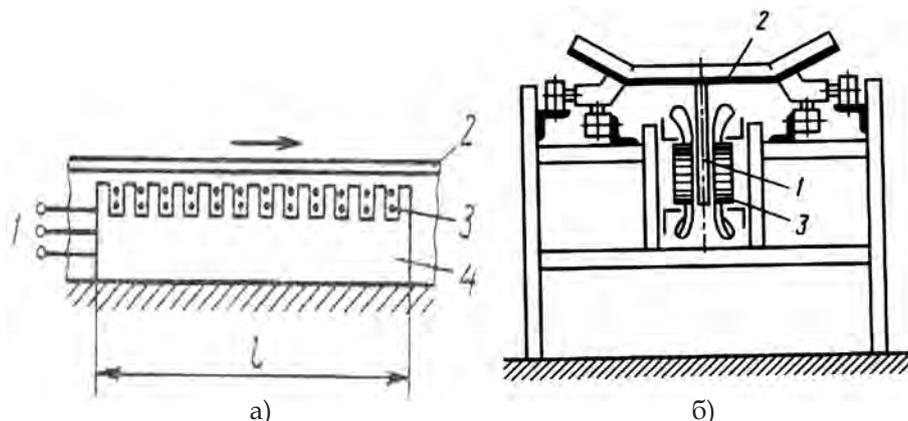


Рис. 2. Конвейерный поезд с линейным двигателем (ЛАД):

а – линейный двигатель:

1 – токоподвод; 2 – вторичная часть ЛАД; 3 – обмотка ЛАД; 4 – первичная часть ЛАД;

б: сечение конвейерного поезда с ЛАД:

1 – развернутый ротор ЛАД (вторичная часть); 2 – грузонесущая и ходовая части поезда;

3 – статор ЛАД (первичная часть)

Линейный электродвигатель (см. рис. 2), состоит из двух основных частей: первичной – 4 и вторичной – 2. Первичная часть, в состав которой входит обмотка 3 и токоподвод 1, является индуктором (или плоским статором), а вторичная – видоизменяемым ротором двигателя, развернутым на плоскости. Между первичной и вторичной частями двигателя имеется воздушный зазор. При подаче напряжения в обмотках первичной части появляется электрический ток, возникает бегущее магнитное поле, которое в результате магнитной индукции взаимодействует с вторичной частью и вызывает продольное сдвигающее усилие. Если одну часть двигателя, первичную или вторичную, закрепить неподвижно, то другая, свободная, будет перемещаться со скоростью несколько меньшей скорости бегущего магнитного поля за счет электрического скольжения. Соединение движущейся части двигателя с тяговым элементом конвейерного поезда обеспечивает поступательное движение поезда по рельсовому пути без редукторов, муфт и других передаточных механизмов. При неподвижной первичной части и подвижной вторичной токоподвод к обмоткам электродвигателя будет стационарным. Первичная часть плоского линейного двигателя состоит из набора тонких штампованных листов из электротехнической стали, собранных в единый пакет – магнитопровод. В листах имеются пазы (поперечные), в которых укладывается обмотка из медного провода. Вторичная часть представляет собой продольно расположенный металлический сердечник, например, полосу, расположенную вдоль тележки поезда. Материал вторичной части и зазор между первичной и вторичной частями определяют КПД и тяговое усилие двигателя.

Для создания мощного магнитного потока вторичная часть должна иметь низкое магнитное сопротивление и одновременно низкое активное сопротивление. Поэтому вторичную часть необходимо изготовить из стали с медными или алюминидиевыми накладками.

К преимуществам ЛАД относятся бесконтактная непосредственная передача тягового усилия к грузонесущему полотну конвейерного поезда, возможность установки нескольких ЛАД последовательно с минимальным шагом.

Применять ЛАД в системе конвейерных поездов наиболее рационально при скорости движения состава, превышающей 3,0 м/с.

При разработке конвейерного поезда для условий конкретной угольной (рудной) шахты или рудного карьера будем руководствоваться техническими характеристиками рассмотренных приводов, а также условиями для соблюдения правил безопасной эксплуатации конвейерных поездов.

Для конвейерного поезда согласно с техническим заданием конкретной шахты или рудника рассчитывается производительность одного состава [3], т/ч:

$$Q_t = 0,36 q_t l_c K_n / (T_t K_B K_r), \quad (1)$$

где q_t – погонный вес транспортируемого груза на грузонесущем «полотне», (н/м); l_c – длина секции состава поезда, м; K_n, K_B, K_r – коэффициенты, соответственно, неравномерности работы ($K_n = 1,2$) использования по времени ($K_B = 0,8-0,9$), готовности системы ($K_r = 0,9-0,95$); T_t – продолжительность полного цикла движения одного состава, с:

$$T_t = \frac{L_z - (l_3 + c_p)}{l_3 l_p V_z k_2} + \frac{L_o}{V_3} + \frac{l_3}{V_3} + \frac{l_p}{V_p},$$

где L_z, L_o, l_3, l_p – длина участка доставки груза, обратной ветви и участков загрузки и разгрузки (м); V_r, V_o, V_3, V_p – соответственно, скорости движения поезда на грузовой, обратной ветвях трассы и на участках загрузки и разгрузки (м/с); $k_2 = 0,8-0,9$ – коэффициент учета торможения и разгона поезда при снижении скорости на участках загрузки и разгрузки.

Для реализации требуемой производительности подвижного состава конвейерного поезда каждая приводная станция (k -я) должна развить мощность, которая обеспечит перемещение поезда средним продольным усилием F_k со средней скоростью V , т. е.:

$$N_k = \frac{F_r V}{1000 \eta}. \quad (2)$$

В приведенном выражении η – КПД приводной станции (привода).

Тяговое усилие F_k – приводного двигателя направлено на преодоление сопротивлений движению и разгон вагонеток (рис. 3).

При этом определение сопротивления движению вагонеток для конвейерных поездов имеет ряд особенностей, которые сводятся к тому, что при движении поезда по приводу, последний делит подвижной состав на две зоны – растянутую и сжатую, соотношение длин этих зон постоянно изменяется во времени. Тяговое усилие F_n конвейерного поезда направлено на преодоление сопротивления движению в растянутой и сжатой зонах, преодоление уклонов пути и сопротивления движению на криволинейных участках трассы и сил инерции:

$$F_T = (G_T + G_{To}) \left[w_p k + \int_h^n w_c x_j d_j + w_{k0} \pm i \pm \frac{\delta \alpha}{g} \right], \quad (3)$$

где G_T – вес тележки поезда, Н; G_{Tp} – вес груза на тележке, Н; w_p – основное удельное сопротивление движению растянутой части поезда. Н/кн; w_c – основное удельное сопротивление сжа-

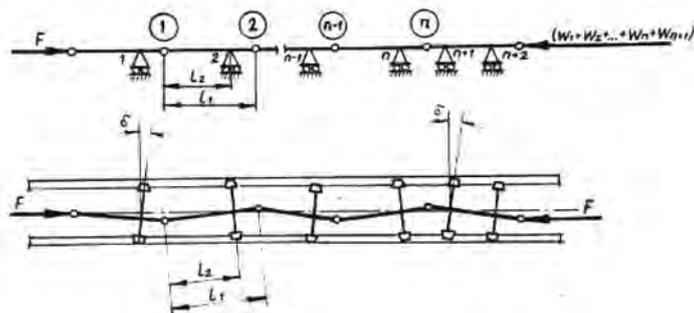


Рис. 3. Расчетная схема подвижного состава конвейерного поезда для режима толкания – сжатие шарнирного многозвенника, состоящего из n элементов подвижного состава

w_1, w_2, \dots, w_n – сопротивление движению вагонеток

той части поезда, Н/кн; w_{kp} – основное удельное сопротивление для m тележек, находящихся в криволинейном участке трассы, подлежит определению для заданного элемента пути, Н/кн; j – текущий номер вагонетки в сжатой части поезда ($k \leq j \leq n$); n – количество вагонеток в составе; k – количество тележек растянутой части состава; l_n – длина состава поезда, м; l_k – длина растянутой части состава, м; i – уклон пути, %; δ – коэффициент, учитывающий инерцию вращающихся масс (обычно $\delta = 1,06-1,12$); α – ускорение (замедление) поезда, м/с².

Основное удельное сопротивление движению растянутой части подвижного состава конвейерного поезда рассматривается в установившемся режиме тяги, имеет постоянную величину ($w_p = \text{const}$) и определяется известными методами [1]. Основное удельное сопротивление движению сжатой части состава характеризует режим толкания как типичный режим работы конвейерных поездов.

В практических расчетах с достаточной степенью достоверности, как следует из работы [2], для сжатой части конвейерного поезда, основное сопротивление движению рекомендуется определять следующим образом:

$$w_c = \frac{G_T + G_{ep}}{2} w_p (n - k) \left(1 + \frac{w_{co}}{w_p} \right), \quad (4)$$

где w_{co} – наибольшее значение основного удельного сопротивления движению (для вагонетки из сжатой части поезда).

Отметим, что наибольшее значение удельного сопротивления движению поезда развивается в одной из вагонеток, расположенных в передней части сжатого участка поезда. Это происходит потому, что доли тягового усилия F_{ij} , приходящиеся на каждую вагонетку, удовлетворяют неравенству [2]:

$$F_{1j} > F_{2j} > F_{3j} > \dots > F_{nj}$$

На основании изложенного формула (3) может быть использована для определения тягового усилия поезда с учетом выражения (4). Тог-

да тяговое усилие, которое необходимо развить приводу для наиболее тяжелого варианта нагружения, когда k тележек находится в режиме тяги, а $(n-k)$ тележек находится в режиме толкания (и m тележек находится на криволинейной части трассы), определяется, исходя из следующего соотношения:

$$F_T = (G_T + G_{To}) \left[w_p k + \frac{w_p}{2} (n - k) \left(1 + \frac{w_{co}}{w_p} \right) + w_{kp} m \pm i \pm \frac{\delta \alpha}{g} \right], \quad (5)$$

В приведенном выражении использованы те же обозначения, что и в формулах (3) и (4). При этом $n-k \gg k$.

На основании приведенной методики, после утверждения плана-профиля всех участков трассы и предварительной расстановки приводов вдоль пути, учета уклонов криволинейных участков и разделения всего состава на тянущую и толкающую части, можно определить требуемую производительность с учетом скоростей поезда на участках загрузки, доставки, разгрузки и возврата состава и рассчитать суммарную мощность всей транспортной системы. Расстановку приводов вдоль трассы необходимо выполнить таким образом, чтобы на линейных участках расстояния между двумя соседними приводами равнялось примерно длине поезда (т. е. первая и последняя тележки поезда находились под воздействием соседних приводов).

Выводы

Полученные результаты можно использовать для расчетов при проектировании и создании конвейерного поезда для нового транспортного участка на одном из глубоких рудных карьеров и ряда шахт Украины (как рудных, так и угольных). Экономическая целесообразность применения конвейерных поездов как альтернативного транспорта для шахт и карьеров была обоснована на предыдущем этапе исследований [4].

Библиографический список

1. Тартаковский Б. Н. Конвейерные поезда в горной промышленности / Б. Н. Тартаковский, Б. З. Палей, Л. М. Солодовник [и др.]. – К.: Наукова думка, 1974. – 207 с.

2. Михайлов В. А. Методика расчета ходовых сопротивлений конвейерных поездов для различных режимов работы / В. А. Михайлов, Ю. Н. Ронжес, В. Г. Трусий, Ю. А. Малиновский // Кривой Рог. – 1985. – Рук. деп. в УкрИИНТИ, 346 Ук – 85 деп. – 28 с.

3. Спиваковский А. Д. Транспортирующие машины / А. Д. Спиваковский, В. К. Дьячков. – М.: Машиностроение, 1983. – 487 с.

4. Попов С. О. Особенности применения конвейерных поездов при добыче полезных ископаемых на глубоких горизонтах / С. О. Попов, Ю. А. Малиновский, Г. В. Данилина, С. Н. Козырев // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2015. – № 4. – С. 106–110.

Поступила 09.03.2016



УДК 622.807 : 621.928.8

Наука

И. В. Шадрунова /д. т. н./, Т. В. Чекушина /к. т. н./
Институт проблем комплексного освоения недр
РАН, г. Москва, Россия

**Е. В. Колодежная /к. т. н./, О. Е. Горлова /к. т. н./,
Н. Н. Орехова /д. т. н./**

Магнитогорский государственный технический
университет им. Г. И. Носова, г. Магнитогорск,
Россия

В. И. Ляшенко

ГП «УкрНИПИИПромтехнологии»,
г. Желтые Воды, Украина

Разработка и внедрение ресурсосберегающих технологий и технических средств для переработки труднообогатимого сырья*

Изложена ресурсосберегающая технология, основанная на закономерностях разрушения труднообогатимого материала в центробежных дробилках ударного действия.

Приведена математическая зависимость необходимой скорости вращения ускорителя дробилки ударного действия от физико-механических характеристик разрушаемого материала. Дана оценка влияния способа дробления шлаков на показатели его последующей переработки. Показана более высокая раскрываемость зерен металлической меди и сульфидов меди при дроблении шлаков в центробежно-ударной дробилке ДЦ по сравнению со щековой дробилкой. (Ил. 3. Табл. 3. Библиогр.: 18 назв.)

Ключевые слова: рудоподготовка, дезинтеграция, интергранулярное разрушение, центробежно-ударная дробилка, шлаки медной плавки, физико-механические свойства.

Resource-saving technology based on regularities of destruction of complex material in centrifugal crusher of shock action is explained. Mathematical dependence of necessary rotational speed of the accelerator of a crusher of shock action on physicomachanical characteristics of destroyed material is given. The impact assessment of a method of crushing of slags on indices of its subsequent processing is given. Higher solvability of grains of metal copper and sulfides of copper when crushing slags in centrifugal shock crusher BC on comparing with jaw crusher is shown.

Key words: ore pretreatment, disintegration, intergranular destruction, centrifugal impact breaker, slags of copper smelting, mechanical-and-physical properties

* Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ, Соглашение № 14.604.21.0128 (уникальный идентификатор проекта RFMEFI60414X0128).