Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им.Г.В.Плеханова,
т. ДХХХУШ, 1981 г.

УДК 622.647.2

ПРОБЛЕМА СОЗДАНИЯ МНОГОПРИВОДНЫХ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ ВАКУУМ-ПРИВОДАМИ

К.А.ВАСИЛЬЕВ,
Д.А.ЮНГМЕЙСТЕР

Совершенствование конвейерного транспорта горнодобывающей промышленности как при открытых, так и при подземных разработках идет по пути неуклонного увеличения длины ленточных конвейеров в одном ставе с целью снижения числа перегрузочных пунктов и транспортных звеньев в конвейерных линиях. Длина современных ленточных конвейеров с концевыми многобарабанными приводами обычно не превышает 2-3 км вследствие недостаточной тяговой способности по условию сцепления барабанов с лентой и ограниченной прочности конвейерных лент. Созданные конвейеры длиной в одном ставе до 10-12 км потребовали использования уникального приводного оборудования и сверхпрочных, весьма дорогостоящих конвейерных лент [2]

Для осуществления бесперегрузочного транспортирования на значительные расстояния наиболее прогрессивным направлением следует считать создание многоприводных ленточных конвейеров с промежуточными приводами, обеспечивающими бесперегрузочное высокопроизводительное транспортирование массовых сыпучих грузов с использованием серийных конвейерных лент малой прочности и стандартного приводного оборудования.

Работы в области создания многоприводных ленточных конвейеров (МПЛК) ведутся в институте ВНИИПТМаш, где разработана и прошла опытно-промышленные испытания конструкция МПЛК с промежуточными фрикционными приводами. За рубежом конструкции МПЛК разрабатывают фирмы "Кейбл Белт Лимитед" (Великобритания), "Крупп" и "Штольбау" (ФРГ), "Гудрич" (США). Созданы и используются МПЛК в Японии. В ЧССР на карьере "Брезно-I" проходит испытание первый опытный образец МПЛК с промежуточным фрикционным приводом [2]

Область применения МПЛК не ограничивается транспортированием только по горизонтальным и слабонаклонным трассам. Считают, например, что конвейерный подъем из глубоких карьеров должен осуществляться, независимо от глубины, только по бесперегрузочной схеме с применением промежуточных приводов [4] .

Несмотря на то, что создано несколько различных конструкций промежуточных приводов, наиболее широко используется ленточный привод с протяженным линейным контактом, так как в его конструкции широко применены унифицированные узлы серийных ленточных конвейеров. Однако его существенный недостаток – большая длина фрикционного контакта тягового органа привода с грузонесущей лентой, достигающая 100-150 м, – не всегда позволяет МПЛК конкурировать с конвейерами других типов. Экономико-математическое моделирование, проведенное Институтом горного дела Минчермета с целью сравнения экономической целесообразности применения в одинаковых условиях различных типов ленточных конвейеров (обычных, ленточно-канатных и МПЛК с приводами конструкции ВНИИПТМаша), показало, что на горизонтальных трассах длиной 8-12 км МПЛК оказываются менее экономичными, чем обычные ленточные конвейеры. Это объясняется тем, что годовой расход ленты и роликов на МПЛК выше, чем на обычных конвейерах из-за наличия кроме грузонесущей приводных лент значительной длины [1]

Таким образом, одной из главных задач дальнейшего повышения эффективности применения многоприводных ленточных конвейеров следует считать создание промежуточного привода с небольшой длиной тягового органа при широком использовании в его конструкции унифицированных узлов серийных конвейеров. Основное направление этой работы – создание промежуточных ленточных приводов с дополнительными побудителями сцепления грузонесущей и тяговой лент, в качестве которых используются механические прижимные устройства, магнитные силы, избыточное давление воздуха. Предложены различные конструкции промежуточных приводов с упомянутыми побудителями сцепления, однако все они требуют применения тяговых и грузонесущих лент специальных конструкций, что является существенным недостатком.

К числу наиболее перспективных типов промежуточных приводов этой же категории, на наш взгляд, следует отнести вакуум-приводы, у которых дополнительная сила сцепления между грузонесущей и тяговой лентами обеспечивается использованием атмосферного давления при создании вакуума по всей площади их фрикционного контакта. В этом случае тяговая и грузонесущая ленты прижимаются друг к другу дополнительным усилием, удельная величина которого равна разности между атмосферным давлением и остаточным давлением между лентами. Вакуум-приводы обладают высокой тяговой способностью, позволяющей значительно сократить длину фрикционного контакта их тягового органа с грузонесущей лентой. Тяговая способность вакуум-привода легко регулируется изменением величины вакуума между лентами, что может быть использовано для установления режима нагрузки на электродвигатели промежуточных приводов.

Конструкции промежуточных вакуум-приводов предложены в США, ФРГ, ПНР, Франции, однако все они отличаются сложностью исполнения тягового органа.

Значительно более прост промежуточный вакуум-привод, разработанный на кафедре горных транспортных машин ЛПИ (рис.1), в конструкции которого широко использованы унифицированные узлы ленточных конвейеров. Тяговый орган выполнен в виде резинотросовой ленты, перфорированной рядами отверс-

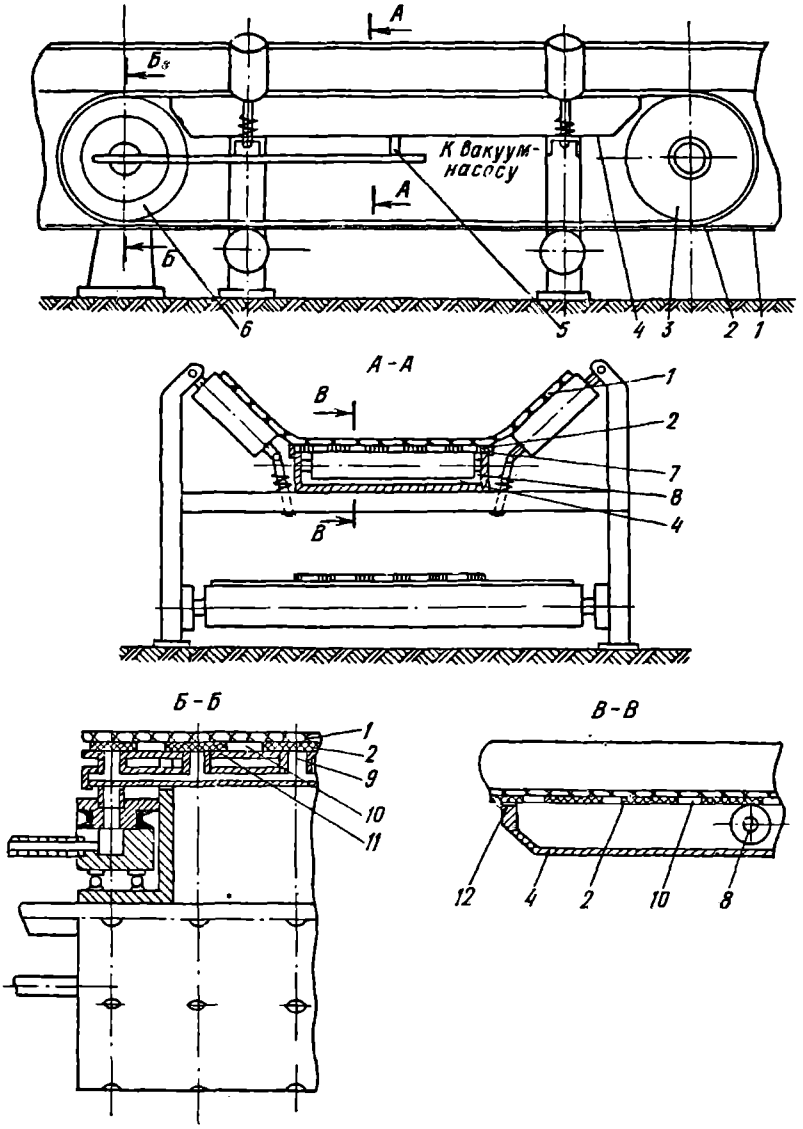


Рис.1. Конструктивная схема промежуточного вакуум-привода, разработанная в ЛГИ

1 - грузонесущая лента; 2 - тяговая лента; 3 - натяжной барабан; 4 - камера пониженного давления; 5 - патрубки вакуумной системы; 6 - приводной вакуум-барабан; 7 - опоры скольжения; 8 - опорные ролики; 9 - отверстия обечайки; 10 - отверстия тяговой ленты; 11 - обечайка вакуум-барабана; 12 - слой низкофрикционного материала

тий. Грузонесущая и тяговая ленты по всей длине их фрикционного контакта опираются на коллектор для отсоса воздуха из межленточного пространства, выполненный в виде герметичного лотка с вмонтированными в него роликами для обеих лент. Вакуумное разрежение, создаваемое в коллекторе, через отверстия тяговой ленты распространяется на всю поверхность контакта грузонесущей и тяговой лент, обеспечивая дополнительное прижатие грузонесущей ленты к поверхности тяговой ленты действием атмосферного давления. Вакуум в коллекторе создается с помощью специального вакуум-насоса, в качестве которого наиболее целесообразно применять водокольцевой как наиболее простой и надежный в эксплуатации. Величина рабочего разрежения, создаваемая этими вакуум-насосами, может быть обеспечена в пределах 70-80 кПа.

Движение тяговой ленте привода передается в общем случае с помощью обычных приводных барабанов, а при высоких тяговых усилиях - приводным ва-

куум-барабаном. Метсдика расчета длины фрикционного контакта тягового органа и необходимого числа приводов многоприводного ленточного конвейера, снабженного промежуточными вакуум-приводами, имеет свои особенности и должна быть дополнена расчетом необходимой производительности вакуум-насоса. Для получения зависимостей, связывающих основные параметры вакуум-привода, сделаем следующие допущения: тяговая способность вакуум-привода линейно зависит от длины фрикционного контакта его тягового органа; модуль упругости тяговой ленты много больше модуля упругости грузонесущей ленты $E_T \gg E_H$; привод работает в предельном режиме по сцеплению грузонесущей и тяговой лент.

В этом случае длина фрикционного контакта тягового органа вакуум-привода для наиболее неблагоприятного по сцеплению случая - грузонесущая лента конвейера загружена только на участке между приводами (рис. 2) - может быть найдена из условия равновесия сил, действующих на приводной участок тяговой ленты привода:

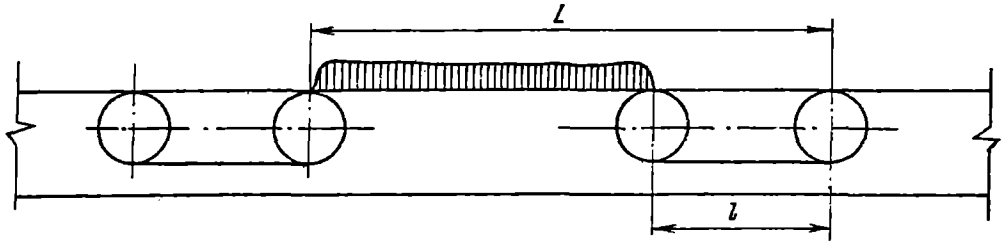


Рис.2. Схема к расчету многоприводного ленточного конвейера

$$(L-l)\,g\Big[\sum_{i=1}^{2} q_i + \frac{1}{T}\int_{t}^{t+T} q(t)\,dt\Big](w\cos\beta \pm \sin\beta) =$$

$$= ef\Big[g q'_{\Lambda}\cos\beta + \frac{1}{T}\int_{t}^{t+T} p_a(t)\,dt\Big], \qquad (I)$$

где L - длина грузонесущей ленты, ведомой приводом; l - длина фрикционного контакта грузонесущей и тяговой лент; $\sum_{i=1}^{2} q_i$ - суммарная линейная плотность грузонесущей ленты q'_{Λ} и вращающихся частей роликоопор q'_P , на которые опираются грузонесущая и тяговые ленты, $\sum_{i=1}^{2} q_i = q'_{\Lambda} + q'_P$, T - рассматриваемый промежуток времени; t - начало отсчета; $q(t)$ - линейная плотность груза в функции времени; w - коэффициент сопротивления движению; β - угол наклона участка грузонесущей ленты конвейера, ведомого промежуточным приводом; f - коэффициент трения между лентами; $p_a(t)$ - сила прижатия грузонесущей ленты к тяговой ленте привода, возникающая в результате действия атмосферного давления, в функции времени, отнесенная к I м длины фрикционного контакта лент,

При усредненном грузопотоке, поступающем на грузонесущую ленту, линейная плотность груза может быть описана уравнением

$$q = \frac{1}{T}\int_{t}^{t+T} q(t)\,dt \qquad (2)$$

Можно также записать

$$p_a = \frac{1}{T}\int_{t}^{t+T} p_a(t)\,dt. \qquad (3)$$

С учетом выражений (2) и (3) уравнение (I) принимает вид

$$(L-l)g\sum_{i=1}^{3} q_i(w\cos\beta \pm \sin\beta) = fl(gq'_{\Lambda}\cos\beta + p_a) \qquad (4)$$

Величину p_a можно определить по следующей формуле:

$$p_a = \left[1 + k_{н}\left(\frac{B'}{\pi n_0 r_0^2} - 1\right)\right]\pi\Delta P_0 n_0 r_0^2 \qquad (5)$$

где $k_{н}$ - коэффициент, учитывающий неравномерное распределение избыточного давления по площади фрикционного контакта лент, $k_{н} = \Delta P_{ср} / \Delta P_0$, B' - ширина вакуумной зоны, создаваемой на контакте грузонесущей и тяговой лент, $B' < B_{т}$; n_0, r_0 - соответственно число и радиус отверстий в тяговой ленте вакуум-привода, расположенных на I м ее длины; ΔP_0 - удельное избыточное давление, действующее на площади фрикционного контакта лент, $\Delta P_0 = P_a - P_0$; $\Delta P_{ср}$ - среднее избыточное давление, действующее на грузонесущую ленту на участках между отверстиями тяговой ленты; $B_{т}$ - ширина тяговой ленты вакуум-привода; P_a - атмосферное давление; P_0 - остаточное давление на площади контакта грузонесущей и тяговой лент.

Уравнение (4) позволяет найти соотношение длины фрикционного контакта тяговой ленты привода и ведомого им участка грузонесущей ленты конвейера

$$K = \frac{l}{L} = \frac{1}{1 + \dfrac{(g\,q'_{\Lambda}\cos\beta + p_a)f}{g\sum\limits_{i=1}^{3} g_i(w\cos\beta \pm \sin\beta)}} \qquad (6)$$

Длину ведомого участка грузонесущей ленты можно определить по общепринятой методике [5] с использованием уравнений (4)-(6) по факторам прочности несущей и тяговой лент и суммарной мощности двигателей промежуточного привода. По фактору прочности тяговой ленты

$$L = \frac{S''_{разр}(e^{f\alpha} - 1)}{m e^{f\alpha} g\left\{Kw\left[(2q''_{\Lambda} + q'_{р} + q''_{р})\cos\beta + \dfrac{p_a}{g}\right] + \sum\limits_{i=1}^{3} q_i(w\cos\beta \pm \sin\beta)\right\}}; \qquad (7)$$

по фактору прочности грузонесущей ленты

$$L = \frac{S'_{max} - S_0}{g(1-K)(w\cos\beta \pm \sin\beta)\sum\limits_{i=1}^{3} q_i}; \qquad (8)$$

по фактору суммарной мощности двигателей промежуточного привода

$$L = \frac{M_{дв}}{g R\left\{(\omega\cos\beta \pm \sin\beta)\sum_{i=1}^{3} q_i + K\omega\left[(q'_л + 2q''_л + q'_р + q''_р)\cos\beta + \frac{f_0}{g}\right]\right\}}, \qquad (9)$$

где $S''_{разр}$ – разрывное усилие тяговой ленты; $e^{f\alpha}$ – тяговый фактор приводного барабана промежуточного привода; m – допускаемый коэффициент запаса прочности тяговой ленты; $q''_л$ – линейная плотность тяговой ленты; $q''_р$ – линейная плотность вращающихся частей роликоопор на порожней ветви привода; S'_{max} – максимальное натяжение грузонесущей ленты; S_0 – предварительное натяжение ленты; $M_{дв}$ – суммарный момент, развиваемый двигателями привода; R – радиус приводного барабана привода.

Длина фрикционного контакта тяговой ленты привода определяется по формуле (6)

$$l = KL. \qquad (10)$$

Для определения оптимальных расчетных параметров МПЛК с промежуточными вакуум-приводами необходимо делать несколько вариантов расчета по уравнениям (4)-(10), варьируя в них величины P_0, $S''_{разр}$, S'_{max}, $e^{f\alpha}$. Окончательно расчетные параметры конвейера выбирают на основе технико-экономического сравнения вариантов, что лучше всего делать с использованием ЭВМ.

Производительность вакуум-насоса для промежуточного вакуум-привода необходимо определять, исходя из двух условий:

1) создание необходимой величины вакуума по всей площади фрикционного контакта грузонесущей и тяговой лент перед пуском конвейера на заданное время $t_п$;

2) поддержание заданной величины вакуума на дуге обхвата в период работы конвейера.

Для первого условия рассмотрим вакуум-привод в статическом состоянии при работающем вакуум-насосе. В этом случае для водокольцевого вакуум-насоса процесс откачки воздуха из объемов вакуум-привода можно принять за стационарный, происходящий при изотермическом расширении воздуха [3] Производительность водокольцевого вакуум-насоса в общем случае без учета сопротивлений в трубопроводе определяется по формуле (3)

$$Q_н = \frac{V_0}{t_0} \ln \frac{P_1}{P_2}, \qquad (11)$$

где V_0 – объем аппарата, из которого откачивается воздух, м^3; t_0 – длительность откачки, с, $t_0 = t_п$; P_1 и P_2 – начальное и конечное давление в аппарате, $P_1 = P_0$, $P_2 = P_0 - P_в$; $t_п$ – время, в течение которого вакуум-привод должен быть подготовлен к пуску, с; P_0 – среднее барометрическое давление; $P_0 - P_в$ – давление в рабочем пространстве между грузонесущей

и тяговой лентами; $P_в$ – показания вакуумметра на входе вакуумного трубопровода в коллектор вакуум-привода.

Применительно к вакуум-приводу

$$V_а = V_{тр} + V_{кол} + V_р ,$$

где $V_{тр}$ – объем вакуумного трубопровода, соединяющего вакуум-насос с коллектором вакуум-привода; $V_{кол}$ – объем коллектора вакуум-привода; $V_р$ – объем рабочего пространства между грузонесущей и тяговой лентами.

Тогда с учетом натекания воздуха в систему

$$Q_н = k_{нат} \frac{V_{тр} + V_{кол} + V_р}{t_п} \ln \frac{P_а}{P_а - P_в} , \qquad (12)$$

где $k_{нат}$ – коэффициент натекания воздуха в систему через неплотности вакуумных соединений и сопряжений, $k_{нат} = 1{,}2$.

При определении производительности вакуум-насоса по второму условию процесс создания вакуума в вакуумной системе привода можно рассматривать как стационарный, происходящий в системе с предварительно созданным вакуумом, в которую непрерывно подается воздух при одновременной работе вакуум-насоса. В этом случае процесс может быть описан следующим уравнением (3):

$$P_1 = P_а \left[\frac{V_в}{Q_н} + \left(\frac{P_1}{P_а} - \frac{V_в}{Q_н} \right) e^{-\gamma t_1} \right] , \qquad (13)$$

где P_1 – заданный вакуум в системе; $V_в$ – объем воздуха, поступающий в вакуумную систему привода за период времени t_1 ; γ – соотношение между производительностью вакуум-насоса и объемом аппарата, из которого откачивается воздух, $\gamma = Q_н / V_а$

Преобразуя уравнение (13), получим

$$P_1 = P_а \frac{V_в}{Q_н} + \left(P_1 - P_а \frac{V_в}{Q_н} \right) e^{-\gamma t}$$

или

$$P_1 \left(1 - e^{-\gamma t_1} \right) = P_а \frac{V_в}{Q_н} \left(1 - e^{-\gamma t} \right) ,$$

откуда необходимая производительность вакуум-насоса

$$Q_н = \frac{P_а}{P_1} V_в \qquad (14)$$

Применительно к конструкции вакуум-привода (см. рис.1) объем воздуха, поступающего в его вакуумную систему, будет определяться суммарным объемом воздуха в отверстиях тяговой ленты, попадающих в единицу времени в зону действия коллектора. Объемом воздуха, находящегося в микротрещинах поверхностей контакта грузонесущей и тяговой лент, пренебрегаем. Тогда

$V_б = n_1 \pi r^2 h v$, где n_1 – число отверстий в тяговой ленте, отнесенное к I м ее длины; h – толщина тяговой ленты, м; v – линейная скорость движения тяговой ленты, м/с.

Задаваясь периодом времени t_1 , в течение которого должна быть восстановлена величина вакуума в системе, производительность вакуум-насоса можно определить по формуле

$$Q_н = \frac{P_a}{P_1} n_1 \pi r^2 h v \qquad (I5)$$

Наибольшая расчетная производительность, полученная по формулам (I2) и (I5), служит основанием для выбора типового вакуум-насоса, после чего с использованием формы (I0) уточняется время $t_п$.

Расчеты тяговой способности вакуум-привода, выполненные с использованием изложенной методики, показали, что длина фрикционного контакта его тяговой ленты при ΔP = 60 кПА уменьшается более чем в 30 раз по сравнению с промежуточным приводом ленточного типа с идентичными параметрами тяговой ленты, а при ΔP = 40 кПа перекрывает тяговую способность магнитно-фрикционного промежуточного привода. Выполненные расчеты МПЛК с вакуум-приводом для условий шахты "Эстония" производственного объединения "Эстонсланец", на которой проектом предусмотрена конвейерная линия длиной 7,5 км, состоящая из трех конвейеров 2ЛУ-I20 длиной по 2,5 км каждый, дали следующие результаты. Для осуществления бесперегрузочного транспортирования МПЛК, устанавливаемый вместо трех конвейеров 2ЛУ-I20, должен иметь четыре вакуум-привода длиной I6 м каждый при ширине тяговой ленты 0,6 м и разности давлений, создаваемой между тяговой и грузонесущей лентой, ΔP = 70 кПа. Вместо резинотросовой ленты РТЛ-3I50, используемой у конвейеров 2ЛУ-I20, возможно применять резинотросовую ленту значительно меньшей прочности РТЛ-I200. Общий расход конвейерной ленты РТЛ-3I50 для тяговых лент вакуум-привода составляет всего I40 м.

Таким образом, использование промежуточных вакуум-приводов в конструкциях МПЛК позволяет значительно повысить их технико-экономическую эффективность за счет резкого сокращения расхода тяговых лент по сравнению с ленточными приводами обычной конструкции и, что особенно важно, расширить область их применения для транспортирования по наклонным трассам.

ЛИТЕРАТУРА

I. Васильев М.В., Волотковский В.С., Кармаев Г.Д. Конвейеры большой протяженности на открытых работах. М., Недра, 1977.

2. Гуленко Г.И., Орешкин В.Л. Тенденции развития ленточных конвейеров специальных конструкций. – Промышленный транспорт, 1980, № 2.

3. Тетерюков В.И. Роторные вакуум-насосы и компрессоры с жидкостным поршнем. М., Машгиз, 1960.

4. IУ Всесоюзная научно-техническая конференция по карьерному транспорту. Тезисы докладов. Свердловск, Институт горного дела МЧМ СССР, 1978.

5. Шахмейстер Л.Г., Дмитриев В.Г. Теория и расчет ленточных конвейеров. М., Машиностроение, 1978.