Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова,
1987, т.110

УДК 622.647.2

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ ТЯГОВЫХ ЛЕНТ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ВАКУУМ-ПРИВОДОВ С ОПОРАМИ СКОЛЬЖЕНИЯ

Д.А.ЮНГМЕЙСТЕР

Эффективность эксплуатации конвейерного транспорта может быть значительно повышена за счет применения многоприводных ленточных конвейеров (МПЛК), которые позволяют использовать полностью ширину лент, применять ленты пониженной прочности, а также значительно снижать стоимость горно-капитальных работ за счет устранения перегрузочных пунктов. МПЛК с промежуточными приводами, например, в виде обычных ленточных конвейеров, прошли успешные промежуточные испытания в Советском Союзе и широко используются за рубежом [I]. Кафедрой горных транспортных машин ЛГИ предложено оснащать мощные МПЛК промежуточными вакуум-приводами. Такие приводы обладают удельной тяговой способностью, в десятки раз превышающей тяговую способность приводов у обычных ленточных конвейеров, что устраняет их существенный недостаток – повышенный расход конвейерных лент и роликоопор. Кроме того промежуточные вакуум-приводы при автоматическом управлении вакуумом могут являться регулируемыми по натяжению грузонесущей ленты. Это позволяет создавать МПЛК неограниченной длины с числом приводов более 9, что в случае нерегулируемых приводов затруднительно.

Надежность работы промежуточного вакуум-привода (рис.I) существенно зависит от типа коллектора. Как показали лабораторные [5] и теоретические исследования процесса взаимодействия лент с поверхностью коллектора промежуточных вакуум-приводов, наиболее простым и компактным является привод с коллектором в виде опоры скольжения малой площади, обладающий максимальной тяговой способностью и низким коэффициентом сопротивления движению лент. Конструктивно такие коллекторы представляют собой герметичные лотки малого объема, открытая часть которых обращена к лентам и покрыта фторопластом (рис.I). В результате фрикционного взаимодействия тяговой ленты и футеровок опор скольжения может происходить значительный нагрев обеих поверхностей. Поэтому параметры как промежуточных вакуум-приводов с опорами скольжения, так и самих линейных опор скольжения, должны определяться при условии, что температура нагрева рабочей поверхности тяговой ленты t_p не может превышать допустимую, т.е. $t_p \leq 100\ ^{\circ}C$.

Для вывода уравнения теплового баланса принимаем следующую модель. Выделяющееся при трении тепло отводится на холостой ветви в результате теплообмена с наружным воздухом и в самом коллекторе – путем охлаждения

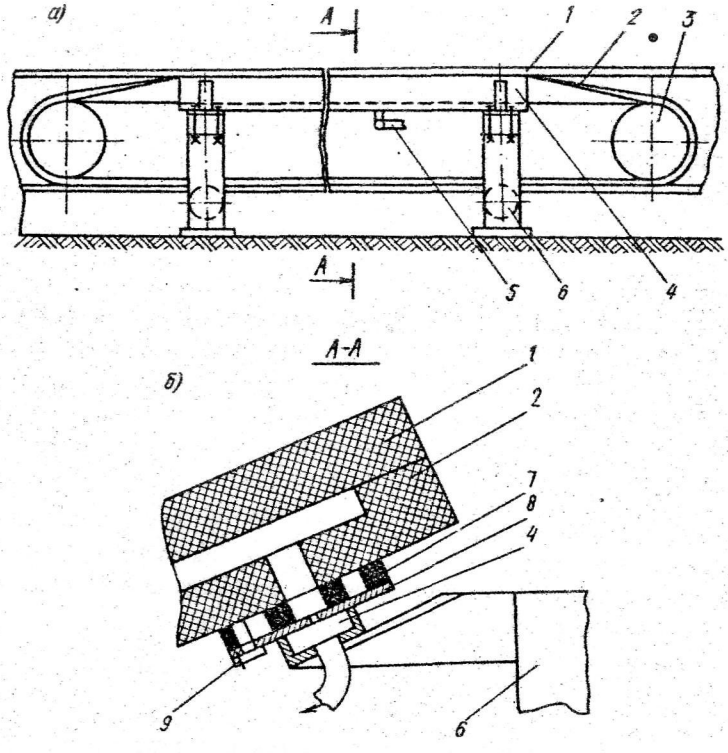


Рис. 1. Промежуточный вакуум-привод ленточного конвейера: а - общий вид привода; б - схема для взаимодействия лент с коллектором
1 - грузонесущая лента; 2 - тяговая лента; 3 - приводной барабан; 4 - коллектор; 5 - вакуум-трубопровод; 6 - став конвейера; 7 - футеровка; 8 - лист; 9 - дроссель

поверхностей воздухом, протекающим по каналам футеровки с высокой скоростью и при низком давлении. Через футеровку тепло не отводится, так как толщина футеровки $\delta_ф$ не менее 4 мм [4]. В месте контакта установился стационарный тепловой режим. При таких допущениях уравнение теплового баланса можно выразить следующим образом:

$$Q = Q_{лх} + Q_в , \qquad (1)$$

где Q - тепло, выделяющееся при трении ленты о коллектор; $Q_в$ - часть тепла, отдаваемая резиной ленты воздуху в коллекторе; $Q_{лх}$ - часть тепла, отдаваемая нагретой поверхностью ленты воздуху на холостой ветви привода.

Мощность трения или количество тепла, выделяющегося при взаимодействии ленты и коллектора длиной $\ell_к$ за I с,

$$Q = f_2 \ell_к \left(g \sum_{i=1}^{4} q_i \cos\beta + \Delta p_0 \Phi_{oc} \right) v , \qquad (2)$$

где v - скорость движения ленты; Δp_0 - разрежение в системе; f_2 - коэффициент трения резины по фторопласту; q_i - i-я составляющая линейной плотности (груз, ленты, вращающиеся части роликоопор); β - угол установки

привода к горизонту; Φ_{oc} – площадь пазов в опоре скольжения, приходящаяся на I м.

Часть тепла, отводимую воздухом в коллекторе, можно определить следующим образом:

$$dQ_B = cM'dt, \tag{3}$$

где c, M' и t – соответственно удельная теплоемкость, массовый расход и температура воздуха в коллекторе.

Эта же часть тепла будет отдана воздуху в единицу времени по длине коллектора $d\ell$:

$$dQ_B = \alpha_1 \Phi_{oc}\, d\ell (t_p - t), \tag{4}$$

где α_1 – коэффициент теплоотдачи; t_p – рабочая температура поверхности резины.

Приравняв правые части формул (3) и (4), разделяя переменные, проинтегрируем полученное уравнение для начальных условий: $\ell = 0$, $t = t_0$. При этом получим выражение, определяющее конечную температуру воздуха после прохождения им всего коллектора длиной ℓ_K,

$$t_K = t_p - (t_p - t_0)\, e^{-\frac{\alpha_1 \Phi_{oc}}{cM'}\ell_K}. \tag{5}$$

Начальная температура воздуха в коллекторе определяется по формуле:

$$t_0 = t_a \left(\frac{P_a}{P_0}\right)^{-\frac{n-1}{n}}, \tag{6}$$

где t_a и P_a – температура и давление атмосферного воздуха; P_0 – давление воздуха в коллекторе; n – показатель политропы.

Интегрирование уравнения (3) дает возможность определить величину

$$Q_B = cM'(t_K - t_0). \tag{7}$$

Решив совместно уравнения (5) и (7), получим:

$$Q_B = cM'(t_p - t_0)\left(1 - e^{-\frac{\alpha_1 \Phi_{oc}}{cM'}\ell_K}\right). \tag{8}$$

На холостой ветви часть тепла, отдаваемая воздуху, определится из выражения:

$$Q_{лх} = \alpha_2\, \Phi_{лх}(t_p - t_a), \tag{9}$$

где α_2 – коэффициент теплоотдачи на холостой ветви; $\Phi_{лх}$ – площадь тяговой ленты, охлаждаемой на ее холостой ветви; t_p и t_a – начальная и конечная (равная температуре окружающего воздуха) температуры ленты.

Уравнение теплового баланса после того, как определены $Q_{лх}$ и Q_B, запишем в следующем виде:

$$f_2 \ell_к \left(g \sum_{i=1}^{4} q_i \cos\beta + \Delta p_0 \Phi_{oc} \right) v = CM' (t_р - t_0) \left(1 - e^{-\frac{\alpha \Phi_{oc}}{cM'} \ell_к} \right) + \alpha_2 \Phi_{лк} (t_р - t_a). \quad (10)$$

Уравнение (10) позволяет рассчитывать длину $\ell_к$, задавшись массовым расходом M' или производительностью газодувки. Возможен обратный расчет, т.е., задаваясь M', можно получить допустимую длину $\ell_к$ при определенном значении Δp_0 разрежения в системе.

Значение α_2 может быть определено следующим образом. Пусть скорость движения ленты v = 2,5 м/с и скорость ветра, обдувающего ленту, $v_в$ = = 0,5 м/с. Общая скорость будет равна 3 м/с. Температура наружного воздуха 20 °С, тогда его параметры таковы: вязкость ν = 15,06·10^{-6} м^2/с, число Прандтля Pr = 0,703, коэффициент теплопроводности λ = = 2,59·10^{-2} Вт/(м·°С). Число Рейнольдса Re = 5·10^6 > 5·10^5, т.е. режим движения воздуха в пограничном слое турбулентный.

Среднее значение коэффициента α_2 можно найти по критериальному уравнению [2] при использовании критерия Нуссельта:

$$Nu = 0{,}032\, Re^{0{,}8} = 0{,}032 (5 \cdot 10^6)^{0{,}8} = 8000, \quad (11)$$

$$\alpha_2 = Nu \frac{\lambda}{\ell_{хл}} = 8000 \frac{2{,}59 \cdot 10^{-2}}{25} = 8{,}2 \text{ Вт/(м}^2 \cdot ^\circ\text{С)}.$$

Когда $Re < 5 \cdot 10^5$, критериальное уравнение имеет вид:

$$Nu = 0{,}67\, Re^{1/2} Pr^{1/3}. \quad (12)$$

Величина α_2 будет меняться незначительно, поэтому можно принять для расчетов α_2 = 10 Вт/(м^2·°С). Определение α_1 требует нахождения зависимости M' от Δp_0.

Если для реализации необходимого тягового усилия требуется создать в коллекторе длиной $\ell_к$ = 10 м разрежение Δp = 30 кПа, то нужно рассчитать режим движения воздуха. Критериальное отношение давлений равно для воздуха 0,528. В нашем случае P_0 / P_a = 70/100 = 0,7 > 0,528, т.е. режим докритический. Такой режим течения воздуха в коллекторе будет иметь место в любом случае, так как остаточное давление в коллекторе понижать ниже 50 кПа не рационально, в противном случае газодувки не применимы, а также необходимо усложнение коллектора и прочей аппаратуры привода.

Массовый расход для докритического режима определим по формуле [3]:

$$M' = A_g P_a \sqrt{\frac{M}{R_0 T}} \sqrt{\frac{2n}{n-1} \left(\frac{P_0}{P_a} \right)^{\frac{2}{n}} \left[1 - \left(\frac{P_0}{P_a} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right]}; \quad (13)$$

средняя скорость в каналах коллектора:

$$v_{ср} = \frac{Q_0'}{A_к P_0} = \frac{M' P_0 T}{A_к P_0 M} = \frac{A_g P_a}{A_к P_0} \sqrt{\frac{R_0 T}{M}} \sqrt{\frac{2n}{n-1} \left(\frac{P_0}{P_a} \right)^{\frac{2}{n}} \left[1 - \left(\frac{P_0}{P_a} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right]}, \quad (14)$$

где A_g и $A_к$ – площадь отверстий в дросселях и суммарное сечение каналов

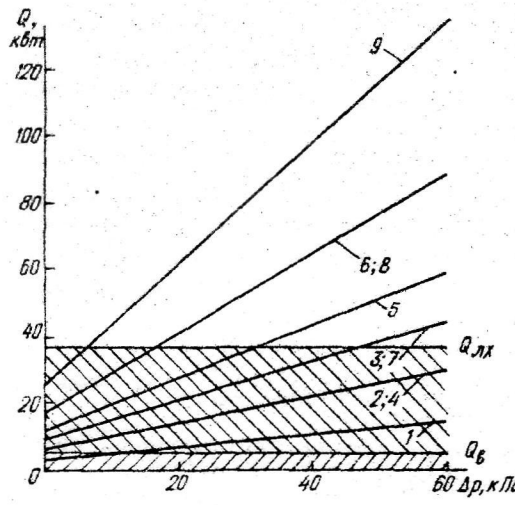


Рис.2. Зависимость количества тепла, выделяющегося за 1 с при трении ленты о коллектор, выполненный в виде опоры скольжения, от величины вакуума Δp_0: 1,2,3 – v = 2 м/с; 4,5,6 – v = 4 м/с; 7,8,9 – v = 6 м/с; 1,4,7 – $\ell_К$ = 5 м; 2,5,8 – $\ell_К$ = 10 м; 3,6,9 – $\ell_К$ = 15 м

в коллекторе; Q_0' – поток воздуха; R_0 – газовая постоянная; M – молекулярная масса воздуха.

Задаваясь отношением сечений отверстия и каналов $A_g / A_К$ можно определить $v_{ср}$, далее по критериальному уравнению (II) или (I2) – коэффициент теплоотдачи α_1.

Тепловые расчеты, производимые численным методом по формулам (I0)–(I4), показали, что выполнение теплового баланса имеет место при ширине опоры скольжения коллекторов не более 20 % от ширины ленты. По результатам этих расчетов для опор скольжения, составляющих I0 % ширины ленты, построены графики зависимости мощности трения Q от Δp_0, v и $\ell_К$ (рис.2), где показаны также максимальные значения $Q_В$ и $Q_{ЛХ}$. Как видно из графиков, доля тепла, отводимого воздухом в коллекторе Q_1 мала, поэтому для увеличения теплоотвода при повышенных скоростях движения и длинах коллекторов возможны следующие варианты: I) увеличение площади холостой ветви тяговой ленты $Ф_{ЛХ}$; 2) осуществление принудительного обдува холостой ветви тяговой ленты для увеличения α_2 до 30–40 Вт/(м$^{2.0}$, что требует установки дополнительного оборудования и поэтому неэффективн

Анализ графиков на рис.2 показывает, что для опор скольжения, имеющ площадь менее I0 % всей площади лент, контактирующих с коллекторами, возможна нормальная работа промежуточного вакуум-привода для скоростей движения лент не более 4 м/с, величины вакуума в коллекторе до 40 кПа и длина контакта лент до I0 м.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дерр Э., Валечек Э. Ленточные конвейерные установки большой длины на шахтах компании „Бергбау АГ Липпе" – Глюкауф, 1985, № 21.

2. Краснощеков Е.А., Сукомел А.С. Задачник по теплотехнике. М., Энергия, 1975.

3. Пипко А.И., Плисовский В.Я., Пенчко Е.А. Конструирование и расчет вакуумных систем. М., Энергия, 1979.

4. Платонов В.Ф. Подшипники из полиамидов. М., Машгиз, 1963.

5. Юнгмейстер Д.А. Лабораторные исследования промежуточного вакуум-привода ленточного конвейера. – В кн.: Рациональные средства и системы механизации калийных рудников. Л., изд. ВНИИГ, 1984.