Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова, 1983, т. 97

УДК 621.867.2

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОЧИСТКИ КОНВЕЙЕРНЫХ ЛЕНТ

Ю.Д.ТАРАС

Процесс очистки конвейерных лент, т.е. удаление с поверхности ленты (подложки) примазок транспортируемого груза, сопровождается преодолением сил адгезионного взаимодействия между загрязняющим ленту слоем и поверхностью самой ленты. Этот процесс может осуществляться при нормальном к плоскости ленты направлении приложения к примазкам очищающего воздействия и в плоскости ленты.

Для агрегатно-сыпучих и пластичных моделей загрязнения конвейерных лент, представляющих наибольший практический интерес, определяющим фактором, ответственным за прочность адгезионных связей, является вязкость пленочной жидкости в зоне контакта примазок с лентой. Поэтому для определения величины адгезионной прочности может быть применена известная зависимость[x], связывающая сопротивление отрыву дисков определенного радиуса, смоченных жидкостью заданной вязкости. Применительно к рассматриваемому случаю прочность прилипания (на отрыв)

$$\sigma_a = 3\eta l_0^2/(4th_0^2), \qquad (1)$$

где η – вязкость коллоидного раствора в контактной зоне между слоем примазок и лентой, Н·с/м^2; l_0 – длина зоны отрыва примазок, м; h_0 – толщина пленки коллоидного раствора, м; t – время отрыва примазок от ленты, с.

Время отрыва примазок от ленты определяется минимальным удалением слоя примазок от ленты, при котором прекращается действие сил поверхностного натяжения пленочной жидкости, и скоростью отрыва, зависящей в свою очередь от кинематической характеристики рабочего органа очистителя.

При гармоническом характере изменения величины очищающего воздействия (очистка ленты стряхиванием, центробежным отрывом или переводом примазок на другую подложку) время отрыва примазок

$$t = \omega^{-1}\arcsin(H_0/r),$$

где ω и r – угловая частота и амплитуда колебания ленты в зоне ее очистки, с$^{-1}$ и м; H_0 – удаляемый слой примазок при их отрыве от подложки в момент разрыва пленочной жидкости, м.

---

[x] Дерягин Б.В., Кротова Н.А., Смилга В.П. Адгезия твердых тел. М., Наука, 1973.

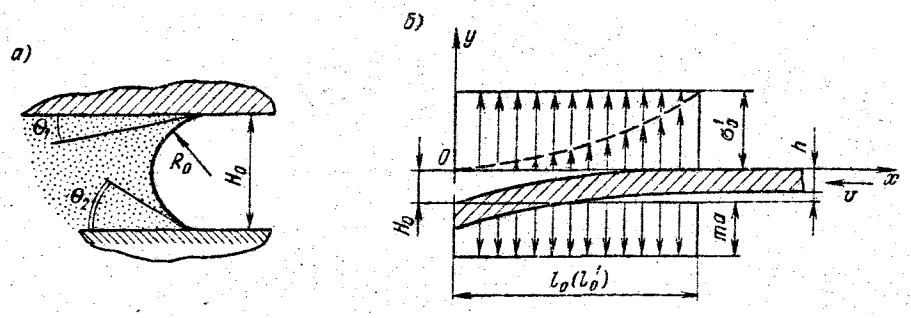


Рис.1. Расчетные схемы к определению толщины пленочной жидкости (а) и зоны отрыва (б)

Величина H_0 зависит от значений краевых углов θ_1 и θ_2, а также радиуса R_0 мениска поверхностной пленки жидкости на границах фаз лента - воздух - жидкость и частица - воздух - жидкость (рис.I, а):

$$H_0 = R_0(\cos\theta_1 + \cos\theta_2).$$

В соответствии с расчетной схемой отрыва слоя примазок от ленты при сообщении последней ускорений в вертикальной плоскости (рис.I, б) дифференциальные уравнения, описывающие условия равновесия примазок под действием сил адгезионного взаимодействия и отрывающих сил в начальный и конечный моменты отрыва примазок, имеют вид

$$a\frac{d^2y}{dx^2} = -bx^2; \quad a\frac{d^2y}{dx^2} = -cx^2 + kx^3, \tag{2}$$

где $a = EJ$; E - модуль упругости материала примазок, Па; J - наименьший момент инерции слоя примазок, м^4; $b = 0{,}5(ma_п - \sigma_a')$; m - линейная масса слоя примазок, кг/м; $a_п$ - ускорение, сообщаемое ленте (и примазкам) в вертикальной плоскости, м/с^2; σ_a' - линейная прочность прилипания на отрыв примазок, Н/м; $c = 0{,}5ma_п$; $k = \sigma_a'/3l_0$.

Решение дифференциальных уравнений, принимая во внимание, что $dy/dx = 0$ при $x = l_0$, позволяет определить величину зоны отрыва соответственно для начального и конечного моментов нарушения адгезионных связей между лентой и загрязняющим ее слоем примазок:

$$l_0' = \sqrt[4]{\frac{2Eh^3H_0}{3[h\gamma_0(\omega^2 r + g) - \sigma_a]}};$$

$$l_0 = \sqrt[4]{\frac{Eh^3H_0}{4[3/8h\gamma_0(\omega^2 r + g) - 0{,}2\sigma_a]}}, \tag{3}$$

где h - толщина слоя примазок, м; γ_0 - плотность примазок, кг/м^3; g - ускорение свободного падения, м/с^2.

Таким образом за одно колебание ленты от нее отрывается слой примазок длиной l_0. Из условия непрерывности очистки ленты и снижения величи-

ны отрывающего усилия потребная угловая частота колебания ленты $\omega \geq 2\pi v l_0^{-1}$, где v - линейная скорость движения ленты, м/с.

Если колебания ленты с необходимыми ускорениями осуществляются не в точке, а в достаточно большом пролете (например, при резонансном режиме работы очистителя), угловую частоту определяют лишь из условия отрыва примазок от ленты: $h\gamma_0(\omega^2 r + g) - \sigma_a > 0$.

Из формулы (3) величина l_0 может быть определена экспериментально по заданным физико-механическим свойствам примазок и кинематическим характеристикам процесса очистки может быть подсчитана прочность прилипания на отрыв:

$$\sigma_a = 15/8 h\gamma_0(\omega^2 r + g) - 5/4 E h^3 H_0 l_0^{-4}.$$

Покажем, что и очистка ленты сдвигом примазок также обеспечивается за счет отрыва последних от подложки, а величина сдвиговой прочности прилипания функционально связана с величиной σ_a.

Экспериментальными исследованиями[x] показано, что перед скребком, на который с некоторой скоростью набегает слой примазок, формируется так называемое ядро уплотнения. Перед ядром уплотнения, которое в свою очередь является преградой для движущегося на него слоя примазок, последний, подобно упругой балке, продольно нагруженной с двух сторон, прогибается в сторону ленты, отрываясь от ее поверхности (рис.2).

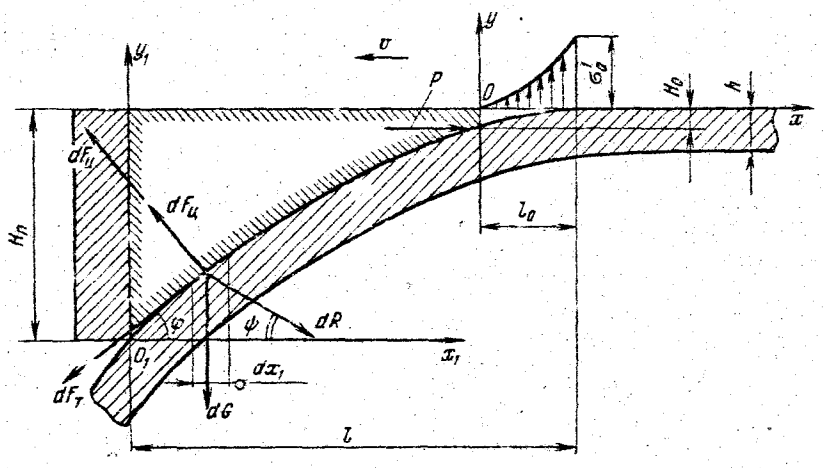


Рис.2. Расчетная схема к определению параметров очистки ленты способом сдвига примазок

Если загрязняющий ленту слой примазок представить в виде нагруженной вдоль оси упругой балки с дополнительной распределенной нагрузкой

[x] Аканов Х.Г. Исследования физических процессов очистки конвейерных лент в условиях налипающих материалов (на примере карьеров КМА). Автореф. канд. дис. М., изд. МГИ, 1976.

вдоль балки, то дифференциальное уравнение, описывающее состояние равновесия такой балки, будет иметь вид

$$a\frac{d^2y}{dx^2} + Py - kx^3 = 0, \qquad (4)$$

где y и x – линейные координаты отрыва загрязняющего ленту слоя в продольном сечении, м; P – усилие, затрачиваемое на сдвиг примазок в зоне их отрыва, Н, $P = \tau_0 l_0 B$; τ_0 – прочность прилипания на сдвиг, Па; B – ширина конвейерной ленты, м.

Интеграл дифференциального уравнения позволяет найти аналитическую зависимость между параметрами σ_a и τ_a:

$$\frac{\sigma_a}{\tau_a} - \frac{\sigma_a E h^3}{6\tau_a^2 l_0^3} + \frac{H_0\sqrt{12\tau_a l_0/Eh^3}}{\sin\left(\sqrt{12\tau_a l_0/Eh^3}\, l_0\right)} = 0.$$

В соответствии с уравнением (I) при очистке ленты сдвигом примазок ($t = l_0/v_0$) прочность прилипания

$$\sigma_a = 3 l_0 \eta v_0/(4h_0^2),$$

где v_0 – относительная скорость поступательного движения преграды и ленты, м/с, при неподвижной преграде $v_0 = v$.

Необходимо подчеркнуть, что полученные зависимости найдены при следующих допущениях, принятых при выводе дифференциальных уравнений (2) и (4): значения σ_a и τ_a – постоянные величины; σ_a' изменяется по линейному закону в пределах зоны отрыва; кинетическая энергия поступательного движения слоя примазок мала по сравнению с силами сдвига примазок при статическом приложении нагрузки; поверхность ленты не деформируется. Нагрузки на рабочий орган очистителя и конвейерную ленту при ее очистке методом сдвига примазок в плоскости ленты могут быть определены, если допустить, что скорость движения отводимого от ленты загрязняющего ее материала в пределах ядра уплотнения постоянна и равна скорости движения ленты, а толщиной отводимого слоя материала можно пренебречь (масса слоя сосредоточена на поверхности, совпадающей с профилем ядра уплотнения).

Условия равновесия ядра уплотнения для элементарной его поверхности запишутся следующим образом (рис.2):

$$\begin{aligned}(dF_{ц} + dF_{и})\cos\varphi - dF_{т}\sin\varphi - dG - dR_y = 0,\\ (dF_{ц} + dF_{и})\sin\varphi + dF_{т}\cos\varphi - dR_x = 0,\end{aligned} \qquad (5)$$

где $dF_{ц}$, $dF_{и}$, $dF_{т}$ и dG – элементарные центробежная сила, сила упругого прогиба, сила трения и сила тяжести, соответствующие участку dx слоя отводимого от ленты материала; φ – мгновенный угол между касательной к профилю ядра уплотнения и осью абсцисс, $\varphi = \operatorname{arctg} y_1'(x_1)$; $y_1(x_1)$ – кривая, описывающая профиль ядра уплотнения; dR_y и dR_x – вертикальная и горизонтальная составляющие реакции ядра уплотнения.

Для физико-механических свойств примазок, соответствующих сыпучему (I-я модель) и агрегатно-сыпучему состоянию (2-я модель) $dF_и = 0$, для агрегатно-пластичного состояния (3-я модель) $dF_и > 0$.

Решение дифференциальных уравнений (5) позвояет найти вертикальную и горизонтальную составляющие давления ядра уплотнения на ленту и преграду:

$$T_y = -R_y = Bh\gamma_0 \int_0^l \left[\left(v^2/\rho + 6{,}4EBh^3/(\rho l^4)\right)(\cos\varphi - f\sin\varphi) - 0{,}5g(1 - f\sin 2\varphi)\right] dx,$$

$$T_x = -R_x = Bh\gamma_0 \int_0^l \left[\left(v^2/\rho + 6{,}4EBh^3/(\rho l^4)\right)(\sin\varphi + f\cos\varphi) - gf\cos^2\varphi\right] dx, \qquad (6)$$

где ρ – мгновенный радиус кривизны профиля ядра уплотнения, м, $\rho = (1 + y_1'^2)^{3/2}/y_1''$; l – удаление зоны отрыва слоя примазок от преграды, м; f – коэффициент трения очищаемого с ленты материала о ядро уплотнения.

В формулах (6) для первой и второй моделей загрязнения $E \cong 0$, для третьей $E > 0$.

С другой стороны,

$$R_y = B\sqrt{\tau_п^2 + \sigma_п^2} \int_0^l \frac{\sin\phi}{\cos\varphi}\, dx;$$

$$R_x = B\sqrt{\tau_п^2 + \sigma_п^2} \int_0^l \frac{\cos\phi}{\cos\varphi}\, dx, \qquad (7)$$

где $\tau_п$ и $\sigma_п$ – предел прочности на сдвиг и сжатие материала примазок, слагающего ядро уплотнения, Па; ϕ – острый угол между реакцией R ядра уплотнения и осью абсцисс.

Функциональная связь между параметрами φ и ϕ находится из уравнения (5):

$$\operatorname{tg}\phi = \frac{\left(v^2/\rho + \dfrac{6{,}4EBh}{\rho l^4}\right)(\cos\varphi - f\sin\varphi) + 0{,}5g(f\sin 2\varphi - 1)}{\left(v^2/\rho + \dfrac{6{,}4EBh}{\rho l^4}\right)(\sin\varphi + f\cos\varphi) - gf\cos^2\varphi}. \qquad (8)$$

Кривизна обращённой вниз поверхности ядра уплотнения, по которой скользит удаляемый с поверхности ленты материал примазок, с некоторым приближением может быть принята постоянной. Тогда радиус кривизны

$$\rho = 0{,}5\left(l^2/H_п + H_п\right) \qquad (9)$$

(здесь $H_п$ – высота преграды, м), а из уравнения окружности мгновенное значение угла

$$\varphi = \operatorname{arc}\operatorname{tg}(l - x_1)/\sqrt{\rho^2 - (l - x_1)^2}. \qquad (10)$$

Численное решение системы уравнений (6)–(10) на ЭВМ позвояет найти величину дополнительных усилий воздействия ядра уплотнения на преграду (рабочий орган очистителя) и конвейерную ленту.