

УДК 622.61

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВИБРООЧИСТКИ НА СРОК СЛУЖБЫ КОНВЕЙЕРНОЙ ЛЕНТЫ

**В.П. Кондрахин, профессор, д.т.н., Е.М. Арефьев, аспирант, Н.В. Хиценко, доцент,  
к.т.н., Донецкий национальный технический университет**

*Аннотация.* Проведена оценка влияния вибрационной и ножевой очистки конвейерной ленты на ее срок службы.

*Ключевые слова:* конвейерная лента, вибрационная очистка, долговечность, срок службы, напряжения.

## ОЦІНКА ВПЛИВУ ВІБРООЧИЩЕННЯ НА ТЕРМІН СЛУЖБИ КОНВЕЄРНОЇ СТРІЧКИ

**В.П. Кондрахін, професор, д.т.н., Є.М. Ареф'єв, аспірант, М.В. Хіценко, доцент,  
к.т.н., Донецький національний технічний університет**

*Анотація.* Проведено оцінку впливу вібраційного і ножового очищення конвеєрної стрічки на її термін служби.

*Ключові слова:* конвеєрна стрічка, вібраційне очищення, довговічність, термін служби, напруги.

## ASSESSMENT OF IMPACT MADE BY VIBRATION CLEANING ON THE CONVEYOR-BELT SERVICE LIFE

**V. Kondrakhin, Professor, Doctor of Engineering Sciences, E. Arefyev, post-graduate,  
N. Khitsenko, Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences,  
Donetsk National Technical University**

*Abstract.* Impact made by vibration and knife cleaning modes on the conveyer-belt service life has been assessed.

*Key words:* conveyer belt, vibration cleaning, durability, service life, stresses and strains.

### Введение

При транспортировании горной массы ленточными конвейерами налипший к ленте материал может привести к заштыбовке подконвейерного пространства и, в конечном итоге, – к простоям оборудования. Кроме этого, на очистку подконвейерного пространства приходится значительная доля небезопасного ручного труда.

Предотвратить образование просыпи в подконвейерном пространстве можно за счет качественной очистки конвейерной ленты. Среди очистных устройств конвейерных лент наибольшее распространение получили

контактные скребковые и ножевые очистители за счет их более простых конструктивной реализации и обслуживания.

В то же время вибрационные очистные устройства обладают рядом неоспоримых преимуществ: выведение рабочего органа очистителя из загрязненной зоны, исключение взаимного износа рабочей обкладки конвейерной ленты и рабочего органа самого очистителя, обеспечение неизменной во времени степени очистки и т.д. В связи с этим представляет интерес провести оценку влияния вибрационной и ножевой (скребковой) очистки конвейерной ленты на ее долговечность.

### Анализ публикаций

В работе [1] приводятся зависимости, связывающие долговечность конвейерных лент с параметрами конвейера (длина конвейера, скорость движения, ширина, толщина рабочей обкладки ленты, конструкция роликоопор и т.д.) и условиями его эксплуатации (тип, плотность и размер кусков груза, высота падения кусков в месте загрузки). Однако предложенные зависимости не учитывают периодический характер взаимодействия рабочего органа виброочистителя с лентой и не могут быть использованы для определения долговечности ленты при виброочистке. В работе [2] рассматривается фрикционно-контактный износ конвейерной ленты и предлагается зависимость для оценки интенсивности износа ее обкладок. Эта модель учитывает напряжения, возникающие в обкладке ленты, однако не учитывает характер изменения этого напряжения, что не позволяет ее использовать для исследования влияния контактных взаимодействий, возникающих при виброочистке, на долговечность конвейерной ленты.

#### Цель и постановка задачи

При очистке конвейерной ленты на последнюю действует очищающее силовое воздействие, которое, вообще говоря, отрицательно сказывается на долговечности ленты. При виброочистке в конвейерной ленте возникают контактные напряжения, обусловленные взаимодействием рабочего органа очистителя с лентой, при ножевой очистке – сила трения, которая приводит к абразивному износу ленты. В связи с высокой стоимостью конвейерной ленты (до 70 % от стоимости конвейера) в работе поставлена задача: выполнить оценку влияния основных способов очистки ленты на ее долговечность.

#### Изложение материала и результат

Долговечность резиновых обкладок конвейерной ленты при динамических нагрузках может быть определена в соответствии с критерием Бейли [3]

$$N \int_0^{\infty} \frac{dt}{\tau(\sigma, T')} = 1, \quad (1)$$

где  $\sigma = \sigma(t)$  – периодический закон изменения напряжения;  $\tau = \tau(\sigma, T')$  – уравнение долговечности при статическом режиме нагружения;  $T'$  – абсолютная температура;  $N$

– число импульсов до разрушения;  $\Theta = \frac{l_k}{V}$  – длительность импульса (время контакта рабочего органа очистителя с движущейся со скоростью  $V$  лентой); где  $l_k$  – длина площадки контакта рабочего органа очистителя (ролика) с лентой, – определяется по формуле Герца [4]

$$l_k = \sqrt{\frac{4P_{k\max}\rho_{np}}{\pi E_{np}}}, \quad (2)$$

где  $P_{k\max}$  – максимальное значение силы взаимодействия очистителя с лентой;  $E_{np}$  – приведенный модуль упругости

$$E_{np} = \frac{E_1 E_2}{E_1 + E_2}, \quad (3)$$

$E_1, E_2$  – модули упругости соответственно рабочего органа очистного устройства и нерабочей обкладки конвейерной ленты ( $E_1 = 2 \cdot 10^5$  МПа для стали;  $E_2$  определялся экспериментально и составил 2,4 МПа);  $\rho_{np}$  – приведенный радиус кривизны, который в первом приближении можно принимать равным радиусу рабочего органа виброочистителя.

Уравнение долговечности резины при статическом режиме нагружения имеет вид [5]

$$\tau(\sigma, T) = \tau_0 \ln \left( \frac{\Delta p_{\infty}}{\Delta p_{\infty} - \Delta p_{кр}} \right) \times \exp \left( \frac{U_0 - \gamma_1(\sigma, T')\sigma}{k'T'} \right), \quad (4)$$

где  $\tau_0$  – период колебаний атома;  $\Delta p_{\infty}$  – приращение накопления перенапряжений связей, способных порваться под действием тепловых флуктуаций;  $\Delta p_{кр}$  – предельная (критическая) концентрация накоплений перенапряжений связей;  $U_0$  – энергия активации разрыва химических связей резины;  $\sigma$  – напряжение в материале;  $k'$  – постоянная Больцмана;  $\gamma_1(\sigma, T')$  – структурно-чувствительный параметр Журкова [5]

$$\gamma_1 = a_{\gamma} - (b_{\gamma} + c_{\gamma} \cdot \sigma)(T - T_{\gamma}), \quad (5)$$

где  $a_\gamma, b_\gamma, c_\gamma, T_\gamma$  – постоянные

$$(a_\gamma = 0,83; b_\gamma = 0,40; c_\gamma = -0,12; T_\gamma = 413 \text{ K}).$$

Напряжение, возникающее в конвейерной ленте при ее контакте с роликовым рабочим органом виброочистителя, можно определить по формуле Герца для контакта двух цилиндров [6]

$$\sigma = \sqrt{\frac{E_{\text{пр}} P_{\text{к}}}{\pi(1-\mu^2)\rho_{\text{пр}} B}}, \quad (6)$$

где  $P_{\text{к}}$  – сила взаимодействия очистителя с лентой, определяемая глубиной деформации ленты и коэффициентом контактной жесткости ленты;  $\mu$  – коэффициент Пуассона (для резины  $\mu = 0,5$ );  $B$  – ширина ленты.

Формирование импульсов напряжения определяется сложным характером взаимодействия очистителя с лентой и описывается системой нелинейных дифференциальных уравнений 5-го порядка [7]. В связи с этим получить аналитическую зависимость, описывающую величину импульсов напряжения, не представляется возможным. Удобно оперировать значением максимального напряжения, оцениваемого по максимальной силе контактного взаимодействия, определяемой путем модельного эксперимента. Вместе с тем форма импульсов достаточно хорошо описывается параболой вида

$$\sigma(t) = A_1 t^2 + B_1 t, \quad (7)$$

где  $A_1, B_1$  – коэффициенты.

Период колебаний виброочистителя значительно больше времени, за которое лента проходит путь, соответствующий длине площадки контакта. Поэтому за один цикл движения конвейерной ленты очиститель контактирует с определенным участком ленты максимум один раз.

Определенное по формуле (1) предельное количество контактов рабочего органа очистителя с лентой может быть использовано для расчета долговечности ленты при виброочистке

$$T_{\text{л}} = \frac{N}{3600 n_{\text{сут}} n_{\text{см}} T_{\text{см}} k_{\text{р}}} \cdot \frac{2L_{\text{к}}}{V}, \quad (8)$$

где  $n_{\text{сут}}$  – количество дней работы конвейера в году;  $n_{\text{см}}$  – количество смен работы конвейера за сутки;  $T_{\text{см}}$  – длительность смены, ч;  $k_{\text{р}}$  – коэффициент, учитывающий режим работы конвейера;  $L_{\text{к}}$  – длина конвейера.

По результатам моделирования рабочего процесса виброочистителя с использованием математической модели [7] получен диапазон значений сил контактного взаимодействия, который составил от 0 до 8000 Н. В этом диапазоне конвейерная лента может воспринять не менее  $2 \cdot 10^7$  взаимодействий с рабочим органом очистителя, что значительно (на порядок) превышает количество циклов движения ленты за весь период ее эксплуатации (2–5 лет). Следовательно, влиянием виброочистки на долговечность конвейерной ленты можно пренебречь.

На основании рекомендаций по оценке долговечности конвейерной ленты в условиях истирающих нагрузок [8] износ ленты, обусловленный воздействием ножевого очистителя, можно оценить по формуле

$$\Delta h_{\text{оч}} = 3,6 \cdot 10^{-6} i_{\text{р}} F_{\text{тр}} B^{-1}, \text{ мкм}, \quad (9)$$

где  $i_{\text{р}} = 500 - 700, \text{ см}^3 / (\text{кВт} \cdot \text{ч})$  – нормативный показатель истирания обкладочной резины;  $F_{\text{тр}} = f_0 T_{\text{y}}$  – сила трения ядра уплотнения очищаемого материала о ленту;  $f_0$  – коэффициент трения угля о ленту;  $T_{\text{y}}$  – нормальная составляющая силы прижатия ядра уплотнения к ленте,  $T_{\text{y}} = 10 - 70 \text{ Н}$  [8].

Московским горным институтом предложена зависимость для определения долговечности конвейерной ленты [1] без учета износа ленты на очистителе (соответствует вибрационной очистке)

$$T_{\text{л}\Sigma\text{в.о}} = \frac{10\delta}{1,8V \left( \frac{\Delta h_{\text{н}}}{L_{\text{к}}} + \frac{\Delta h_{\text{р}}}{l'_{\text{р}}} \right)}, \quad (10)$$

где  $V$  – скорость движения конвейерной ленты;  $\Delta h_{\text{н}}$  – износ обкладки в месте загрузки за один цикл движения ленты, мкм;  $\Delta h_{\text{р}}$  – износ обкладки при прохождении лентой одной роликоопоры, мкм;  $l'_{\text{р}}$  – расстояние между роликоопорами грузовой ветви.

Выражение (10) с учетом износа ленты, обусловленного воздействием ножевого очистителя, можно записать в виде

$$T_{л\Sigma} = \frac{10\delta}{1,8V \left( \frac{\Delta h_n + \Delta h_{оч} + \Delta h_p}{L_k} + \frac{\Delta h_p}{l'_p} \right)}. \quad (11)$$

Для сравнительной оценки влияния ножевой и вибрационной очистки на долговечность ленты построим зависимость отношения  $T_{л\Sigma в.о.} / T_{л\Sigma}$  от длины конвейера  $L_k$  с учетом диапазона изменения параметров  $i_p$  и  $T_y$  (рис. 1).

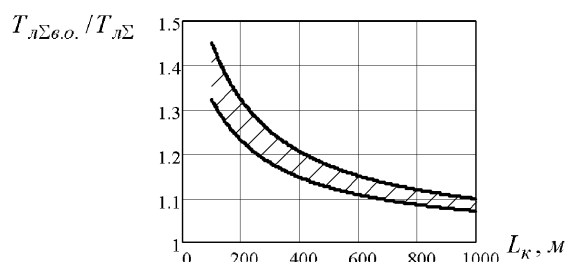


Рис. 1. Зависимость отношения долговечности ленты при вибрационной и ножевой очистке от длины конвейера

Анализ зависимости показывает, что использование виброочистки ленты, по сравнению с традиционной скребковой (ножевой) очисткой, позволит увеличить срок службы конвейерной ленты на 45–20 % (для коротких конвейеров длиной 100–400 м) и на 10–7 % (для длинных конвейеров длиной 600–1000 м).

### Выводы

Реализуемые в процессе виброочистки силы контактного взаимодействия очистителя и ленты не оказывают существенного влияния на ее долговечность. Использование виброочистителей вместо скребковых (ножевых) позволит существенно (до 45 %) увеличить срок службы конвейерной ленты.

### Литература

1. Волотковский В.С. Износ и долговечность конвейерных лент / В.С. Волотковский, Е.Г. Нохрин, М.Ф. Герасимова. – М.: Недра, 1976. – 176 с.
2. Полунин В.Т. Исследование механизма износа обкладок конвейерных лент / В.Т. Полунин, Г.Н. Гуленко // Каучук и резина. – 1972. – №7. – С. 37–39.
3. Бартенев Г.М. Прочность и механизм разрушения полимеров / Г.М. Бартенев. – М.: Химия, 1984. – 280 с.
4. Александров В.М. Введение в механику контактных взаимодействий / В.М. Александров, М.И. Чебаков. – Ростов н/Д: ООО «ЦВВР», 2007. – 114 с.
5. Дырда В.И. Прочность и разрушение эластомерных конструкций в экстремальных условиях / В.И. Дырда. – Киев: Наук. думка, 1988. – 232 с.
6. Будішевський В.О. Оцінка припустимого контактного зусилля під час вібраційного очищення конвеєрних стрічок / В.О. Будішевський, Є.М. Ареф'єв, М.В. Хіценко, А.В. Мерзлікін // Наукові праці Донец. нац. техн. ун-ту. – Донецьк, 2008. – С. 46–50. (Сер.: гірничо-електромеханічна; Вип. 16 (142)).
7. Кондрахин В.П. Математическая модель процесса вибрационной очистки конвейерной ленты / В.П. Кондрахин, Е.М. Арефьев, Н.В. Хиценко // Наукові праці Донецького нац. техн. ун-ту. – Донецьк, 2011. – С. 83–91. (Сер.: гірничо-електромеханічна; Вип. 23(196)).
8. Тарасов Ю.Д. Очистка конвейерных лент и подконвейерного пространства / Ю.Д. Тарасов. – М.: Недра, 1993. – 192 с.

Рецензент: И.А. Емельянова, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 23 мая 2012 г.