

УДК 629.063.6

Арефьев Е.М., канд. техн. наук, доцент,
Веснин А.В., канд. техн. наук, доцент,
Почужевский О.Д., канд. техн. наук, доцент
(Государственное ВУЗ «КНУ»)

ОБОСНОВАНИЕ КРИТЕРИЯ КАЧЕСТВА ВИБРООЧИСТКИ КОНВЕЙЕРНЫХ ЛЕНТ

Ареф'єв Є.М., канд. техн. наук, доцент,
Веснін А.В., канд. техн. наук, доцент,
Почужевський О.Д., канд. техн. наук, доцент
(Державний ВНЗ «КНУ»)

ОБГРУНТУВАННЯ КРИТЕРІЮ ЯКОСТІ ВІБРООЧИЩЕННЯ КОНВЕЄРНИХ СТРИЧОК

Arefyev E.M., Ph.D. (Tech.), Associate Professor,
Vesnin A.V., Ph.D. (Tech.), Associate Professor,
Pochuzhevsky O.D., Ph.D. (Tech.), Associate Professor
(State HEI «KNU»)

JUSTIFICATION OF THE QUALITY CRITERION OF THE VIBRATION CLEANING OF THE CONVEYOR BELTS

Аннотация. В данной статье представлены результаты исследований влияния на оценку эффективности процесса виброочистки конвейерной ленты двух критериев (функций цели):

- срока службы ленты;

- затрат, связанных с налипанием горной массы и очисткой ленты (капитальных и эксплуатационных, в том числе на очистку подконвейерного пространства и энергозатраты).

В результате установлено, что для фактического диапазона контактных усилий, возникающих при контакте рабочего органа виброочистителя и конвейерной ленты, она может воспринять не менее чем $2 \cdot 10^7$ взаимодействий, что значительно (более чем в 10 раз) превышает количество циклов движения ленты за весь период ее эксплуатации (2-5 лет).

Таким образом, в качестве критерия качества виброочистки конвейерных лент целесообразно использовать приведенные затраты, связанные с налипанием горной массы и очисткой ленты.

Ключевые слова: ленточный конвейер, конвейерная лента, виброочиститель, критерий качества.

Качественная очистка конвейерных лент позволяет уменьшить загрязнение подконвейерного пространства просыпью транспортируемого груза и, как результат, снизить количество аварийных остановок конвейера и износ дорогостоящих элементов конвейера - роликкоопор и ленты.

Перспективным направлением очистки является использование очистителей, реализующих бесконтактное вибрационное воздействие на загрязняющую примазку.

Данные очистители обладают рядом неоспоримых преимуществ: выведение рабочего органа очистителя из загрязненной зоны и исключение взаимного износа рабочей обкладки конвейерной ленты и рабочего органа самого очистителя, обеспечение неизменной во времени степени очистки и т.д. Несмотря на весомые преимущества, вибрационные очистители исследованы еще недостаточно полно. Такие вопросы как выбор и обоснование критерия качества виброочистки, а, следовательно, и выбор оптимальных параметров вибрационных очистителей, требуют специальных исследований.

В работе [1] разработана комплексная математическая модель процесса вибрационной очистки конвейерной ленты, представляющая собой систему нелинейных дифференциальных уравнений пятого порядка, учитывающая параметры очистителя и особенности работы электромагнитного вибровозбудителя. Данная модель позволяет оценить влияние на качество виброочистки параметров очистителя со стационарным электромагнитным вибровозбудителем, параметров и условий работы конвейера, а также свойств транспортируемого груза. Однако, критерия, позволяющего оценить качество процесса виброочистки, в работе приведено не было.

Задача оптимизации параметров вибрационного очистителя конвейерной ленты является многокритериальной. В качестве критериев (функций цели) следует принимать:

- срок службы ленты;
- затраты, связанные с налипанием горной массы и очисткой ленты - капитальные (стоимость оборудования) и эксплуатационные, в том числе на очистку подконвейерного пространства и энергозатраты.

Большинство очистителей конвейерных лент постоянно воздействуют непосредственно на налипшую горную массу, расположенную на рабочей обкладке ленты, вызывая интенсивный ее износ, который является одной из основных причин выхода из строя ленты. При виброочистке рабочий орган воздействует на ленту периодически, при этом в конвейерной ленте возникают контактные напряжения, обусловленные взаимодействием рабочего органа очистителя с лентой. В связи с высокой стоимостью конвейерной ленты (до 70 % от стоимости конвейера) представляет интерес оценка влияния вибрационной очистки на ее долговечность.

Долговечность резиновых обкладок конвейерной ленты при динамических нагрузках может быть определена в соответствии с критерием Бейли [2]

$$N_k \int_0^{\Theta} \frac{dt}{\tau(\sigma_L, T')} = 1, \quad (1)$$

где $\sigma_L = \sigma_L(t)$ - периодический закон изменения напряжения в ленте; $\tau = \tau(\sigma_L, T')$ - уравнение долговечности при статическом режиме нагружения; σ_L - напряжение в материале; T' - абсолютная температура; N_k - предельное количество контактов рабочего органа очистителя с лентой; $\Theta = \frac{l_k}{V}$ - длительность импульса

(время контакта рабочего органа очистителя с движущейся со скоростью v лентой), l_k - длина площадки контакта рабочего органа очистителя (ролика) с лентой, определяется по формуле Герца [3]

$$l_k = \sqrt{\frac{4P_{к.мах}\rho_{np}}{\pi E_{np}}}, \quad (2)$$

где $P_{к.мах}$ - максимальное значение силы взаимодействия рабочего органа очистителя с лентой; E_{np} - приведенный модуль упругости, ρ_{np} - приведенный радиус кривизны, в первом приближении может быть принят равным радиусу ролика.

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

где E_1 , E_2 - модули упругости соответственно рабочего органа очистного устройства и нерабочей обкладки конвейерной ленты, $E_1 = 2 \cdot 10^5$ МПа для точечного стального ролика, E_2 определялся экспериментально и составил 2,4 МПа для ленты ШР -1000 – 4 - ТК -200 – 4 - 2 РБ ГОСТ 20-85;

Уравнение долговечности резины при статическом режиме нагружения имеет вид [4]

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

где τ_0 - период колебаний атома резины; Δp_∞ - приращение накопления перенапряжений связей, способных порваться под действием тепловых флуктуаций; $\Delta p_{кр}$ - предельная (критическая) концентрация накоплений перенапряжений связей; $U_{акт}$ - энергия активации разрыва химических связей резины; k' - постоянная Больцмана; $\gamma_1(\sigma_l, T')$ - структурно-чувствительный параметр Журкова [4]

$$\gamma_1 = a_\gamma - b_\gamma + c_\gamma \cdot \sigma_l - T_\gamma, \quad (5)$$

где a_γ , b_γ , c_γ , T_γ - постоянные ($a_\gamma = 0,83$, $b_\gamma = 0,40$, $c_\gamma = -0,12$, $T_\gamma = 413$ К).

Напряжение, возникающее в конвейерной ленте при ее контакте с роликовым рабочим органом виброочистителя, можно определить по формуле Герца для контакта двух цилиндров [5, 6]

$$\sigma_l = \sqrt{\frac{E_{np} P_k}{\pi(1 - \mu^2)\rho_{np} B}}, \quad (6)$$

где P_k - сила взаимодействия очистителя с лентой, определяемая глубиной деформации и коэффициентом контактной жесткости ленты; μ - 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 [1]. В связи с этим, получить в явном виде аналитическую зависимость, описывающую величину импульсов напряжения, не представляется возможным. Удобно оперировать значением максимального напряжения, которое оценивается по максимальной силе контактного взаимодействия, определяемой путем модельного эксперимента. Вместе с тем, форма импульса достаточно хорошо описывается параболой вида

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

где A_1, B_1 - коэффициенты, определяемые формой импульса напряжения.

Период ударов очистителя значительно больше времени, за которое лента проходит путь, соответствующий длине площадки контакта. Поэтому за один цикл движения конвейерной ленты рабочий орган очистителя взаимодействует с определенным участком ленты максимум один раз.

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

$$T_n = \frac{N_K}{3600 n_{сут} n_{см} T_{см} k_p} \frac{2L_K}{V}, \quad (8)$$

где $n_{сут}$ - количество дней работы конвейера в году; $n_{см}$ - количество смен работы конвейера за сутки; $T_{см}$ - длительность смены, ч; k_p - коэффициент, учитывающий время работы конвейера; L_K - длина конвейера.

По результатам моделирования рабочего процесса виброочистителя с использованием математической модели [1] получен диапазон значений сил контактного взаимодействия, который составил от 0 до 8000 Н. Для этого диапазона контактных усилий, конвейерная лента может воспринять не менее $2 \cdot 10^7$ взаимодействий, что значительно (более чем в 10 раз) превышает количество циклов движения ленты за весь период ее эксплуатации (2-5 лет). Следует отметить, что виброочиститель воздействует на нерабочую обкладку конвейерной ленты, а критическим является износ рабочей обкладки. Таким образом, использование виброочистки не приведет к заметному снижению ресурса ленты и задача оптимизации параметров виброочистителя может рассматриваться как однокритериальная.

Затраты, связанные с налипанием горной массы, складываются из капитальных Z_k (изготовление или приобретение очистителя) и эксплуатационных затрат $Z_э$,

$$Z = Z_k E_n + Z_э, \quad (9)$$

где E_n - нормативный коэффициент экономической эффективности капиталовложений.

Капитальные затраты определяются стоимостью очистителя C_0 , которая

значительно ниже стоимости конвейера и эксплуатационных годовых затрат, связанных с работой очистителя.

Эксплуатационные затраты, связанные с налипанием горной массы, зависят от стоимости потребленной очистителем электроэнергии, затрат на обслуживание очистителя, амортизационных отчислений, затрат на уборку просыпи в подконвейерном пространстве и др.

$$Z_3 = N_2 \cdot C_{эл} + C_{обсл} + H_{a.з} + 3600n_{сум}n_{см}T_{см}k_p C_{np} VB' h_{н.сп}, \quad (10)$$

где N_2 - годовое потребление электроэнергии очистителем, кВт·ч/год; $C_{эл}$ - тариф на энергию для шахты, грн/кВт·ч; $C_{обсл}$ - годовые затраты на обслуживание очистителя, грн/год; $H_{a.з}$ - годовая сумма амортизационных отчислений, $H_{a.з} = \frac{C_o}{T_o}$, T_o - срок службы очистителя; C_{np} - стоимость уборки 1 м³ просыпи из

подконвейерного пространства, $C_{np} = \frac{ЗП \cdot НВ}{n_{вых} \cdot T_{см}}$, где $ЗП$ - месячная заработная плата

с начислениями горнорабочего подземного, грн; $НВ$ - норматив времени по погрузке груза на конвейер, чел.-час./т.; $n_{вых}$ - количество выходов горнорабочего подземного в месяц; $T_{см}$ - длительность смены; B' - рабочая ширина ленты, $B' = 0,9B - 0,05$; $h_{н.сп}$ - средняя толщина неотделенного в результате виброочистки слоя [7].

Анализ, проведенный для типичных условий эксплуатации конвейеров в шахтах, показывает, что первые три слагаемых в уравнении (10), учитывающих амортизационные затраты и затраты на электроэнергию и обслуживание очистителя более чем на два порядка меньше затрат на очистку подконвейерного пространства (четвертое слагаемое) и могут не учитываться.

Таким образом, затраты, связанные с налипанием горной массы, определяются, в основном, затратами на очистку подконвейерного пространства

$$Z_{в.о.} = 3600n_{сум}n_{см}T_{см}k_p C_{np} VB' h_{н.сп}. \quad (11)$$

Для расчета экономической эффективности виброочистителя необходимо сравнить затраты при вибрационном (новый вариант) и скребковом (базовый вариант) способах очистки конвейерных лент.

Затраты на очистку подконвейерного пространства при ножевой очистке

$$Z_{н.о.} = 3600n_{сум}n_{см}T_{см}k_p C_{np} VB' h_{н.о.}, \quad (12)$$

где $h_{н.о.}$ - толщина неотделенного в результате ножевой очистки слоя горной массы $h_{н.о.} = \frac{1}{8} \Delta_{\max}$ [7, 8], Δ_{\max} - максимальный износ, соответствующий износу рабочей обкладки по центру ленты наиболее изношенного отрезка. На практике, Δ_{\max} равна толщине рабочей обкладки ленты δ' .

Таким образом, в качестве целевой функции целесообразно принять сравнительную экономическую эффективность виброочистки

$$\mathcal{E} = Z_{н.о.} - Z_{в.о.} \quad (13)$$

Полученный критерий качества виброочистки конвейерных лент может быть использован для обоснованного выбора виброочистной техники ленточных конвейеров горных предприятий.

Дальнейшие исследования предусматривают разработку математической модели оптимизации параметров виброочистителя с использованием установленного критерия качества.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кондрахин, В.П. Математическая модель процесса вибрационной очистки конвейерной ленты / Кондрахин В.П., Арефьев Е.М., Хиценко Н.В. // Наукові праці Донецького нац. техн. ун-ту. Серія гірничо-електромеханічна. – Донецьк. - 2012. - Вип. 23(196). - С. 83-91.
2. Бартенев, Г.М. Прочность и механизм разрушения полимеров / Бартенев Г.М. – М.: Химия, 1984. – 280 с.
3. Александров, В.М. Введение в механику контактных взаимодействий / Александров В.М., Чебаков М.И. – Ростов-на-Дону: ООО «ЦВВР», 2007. – 114 с.
4. Дырда, В.И. Прочность и разрушение эластомерных конструкций в экстремальных условиях / Дырда В.И. – Киев: Наук. думка, 1988. – 232 с.
5. Оцінка припустимого контактної зусилля під час вібраційного очищення конвеєрних стрічок / В.О.Будішевський, Є.М.Ареф'єв, М.В.Хиценко [та ін.] // Наукові праці Донецького нац. техн. ун-ту. Серія гірничо-електромеханічна. – Донецьк. - 2008. - Вип. 16(142). - С. 46-50.
6. Арефьев, Е.М. Оценка толщины адгезионного слоя налипшей горной массы на конвейерной ленте / Е.М.Арефьев, О.Д. Почужевский // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія гірничо-електромеханічна. – Донецьк. - 2013. - Вип. 2(26). - С. 7-12.
7. Сравнительный анализ качества очистки конвейерных лент ножевыми и вибрационными очистителями / В.А.Будисhevский, Е.М.Арефьев, Н.В.Хиценко [и др.] / Вісті Донецького гірничого інституту. – 2008. - №2. –С.202-209.
8. Арефьев, Е.М. Сравнительная оценка технологий очистки конвейерных лент / Е.М.Арефьев, О.Д. Почужевский // Гірничий вісник Криворізького національного університету: зб. наук. пр. – Кривий Ріг, 2014. – Вип. 98. – С. 97–101.

REFERENCES

1. Kondrakhin, V.P., Arefiev, E.M. and Khitsenko N.V. (2012), "A mathematical model of the process of vibration cleaning of a conveyor belt", *Naukovi pratsi Donetskogo natsionalnogo tekhnichnogo universytetu, Seriya Girnyctvo*, vol. 23 (196), pp. 83-91.
2. Bartenev, G.M. (1984), *Prochnost i mekhanizm razrusheniya polimerov* [Strength and mechanism of polymer destruction], Khimiya, Moscow, USSR.
3. Aleksandrov, V.M. and Chebakov, M.I. (2007), *Vvedenie v mekhaniku kontaknykh vzaimodeystviy* [Introduction to the mechanics of contact interactions], ООО ZVVR, Rostov-on-Don, Russia.
4. Dyrda, V.I. (1988), *Prochnost i razrushenie elastomernykh konstruksiy v ekstremalnykh usloviyakh* [Strength and destruction of elastomeric structures in extreme conditions], Naukova Dumka, Kiev, USSR.
5. Budyshevsky, V.O., Ariefev, Ye.M., Hitsenko, M.V. and Merzlikin, A.V. (2008), "Estimation of permissible contact force during vibration cleaning of conveyor belts", *Naukovi pratsi Donetskogo natsionalnogo tekhnichnogo universytetu, Seriya Girnycho-elektromekhanichna*, vol. 16 (142), pp. 46-50.
6. Ariefev, E.M. and Pochuzhevskiy, O.D. (2013), "Evaluation of the thickness of the adhesive layer of adhering rock mass on the conveyor belt", *Naukovi pratsi Donetskogo natsionalnogo tekhnichnogo universytetu, Seriya Girnycho-elektromekhanichna*, vol. 2(26), pp. 7-12.
7. Budishevsky, V.A., Ariefev, E.M., Khitsenko, N.V. and Merzlikin, A.V. (2008), "Comparative analysis of the quality of cleaning conveyor belts with knife and vibration cleaners", *Visti Donetskogo girnychogo*

instytutu, no.2, pp.202-209.

8. Ariefev, E.M. and Pochuzhevskiy, O.D. (2014), “ Comparative evaluation of conveyor belt cleaning technologies”, *Girnichiy visnik Krivorizkogo natsionalnogo universitetu*, vol. 98, pp. 97–101.

Про авторів

Ареф'єв Євген Михайлович, кандидат технічних наук, доцент, Державний вищий навчальний заклад «Криворізький національний університет» (Державний ВНЗ «КНУ»), Кривий Ріг, Україна, elcross@mail.ru.

Веснін Артем Вячеславович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобільного транспорту, Державний вищий навчальний заклад «Криворізький національний університет» (Державний ВНЗ «КНУ»), Кривий Ріг, Україна, aaxforever@gmail.com.

Почужевський Олег Дмитрович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобільного транспорту, Державний вищий навчальний заклад «Криворізький національний університет» (Державний ВНЗ «КНУ»), Кривий Ріг, Україна, aaxforever@gmail.com.

About the author

Ariefev Evgeniy Mikhailovich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Associate Professor, State Higher Educational Institution «Kryvyi Rih National University» (State HEI «KNU»), Krivoy Rog, Ukraine, elcross@mail.ru.

Vesnín Artem Vyacheslavovich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Associate Professor, Associate professor of the Department of Automobile Transport, State Higher Educational Institution «Kryvyi Rih National University» (State HEI «KNU»), Krivoy Rog, Ukraine, aaxforever@gmail.com.

Pochuzhevskyy Oleg Dmitrievich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Associate Professor associate professor of the Department of Automobile Transport, State Higher Educational Institution «Kryvyi Rih National University» (State HEI «KNU»), Krivoy Rog, Ukraine, aaxforever@gmail.com.

Анотація. У цій статті представлено результати досліджень впливу на оцінку ефективності процесу віброочищення конвеєрної стрічки двох критеріїв (функцій цілі):

- терміну служби стрічки;
- витрат, пов'язаних з налипанням гірської маси і очищенням стрічки (капітальних і експлуатаційних, в тому числі на очистку підконвеєрного простору і енерговитрати).

В результаті встановлено, що для фактичного діапазону контактних зусиль, які виникають при контакті робочого органу віброочисника і конвеєрної стрічки, вона може прийняти не менше ніж $2 \cdot 10^7$ взаємодій, що значно (більш ніж в 10 разів) перевищує кількість циклів руху стрічки за весь період її експлуатації (2-5 років).

Таким чином, в якості критерію якості віброочищення конвеєрних стрічок доцільно використовувати наведені витрати, пов'язані з налипанням гірської маси і очищенням стрічки.

Ключові слова: стрічковий конвеєр, конвеєрна стрічка, віброочисник, критерій якості.

Annotation. This article presents results of studies of how two criteria (goal functions): service life of the belt and expenditures associated with adhering of the rock mass and cleaning of the belt (capital and operational expenditures including cost of cleaning the sub-conveyor space and energy costs) – impact on evaluation of efficiency of process of the conveyor belt vibratory cleaning.

As a result, it was found that for the actual range of contact forces arising from the contact between vibrator and conveyor belt, the belt can stand not less than $2 \cdot 10^7$ interactions, which is significantly (more than 10 times) greater than the number of cycles of the belt moving during the whole period of its operation (2-5 years).

Therefore, it is expedient to use expenditures associated with adhering of the rock mass and cleaning of the belt as a criterion of quality of conveyor belt vibratory cleaning.

Keywords: belt conveyor, conveyor belt, vibratory-type cleaner, quality criterion.

Стаття поступила в редакцію 21.08.2017

Рекомендовано к публикации д-ром технических наук Четвериком М.С.