

УДК 622.61

Е.М. Арэфьев /к.т.н./

ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет» (Донецк)

А.П. Кирьян

ГОУ ВПО «Академия гражданской защиты» (Донецк)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИАПАЗОНА ЧАСТОТ НАСТРОЙКИ ВИБРООЧИСТИТЕЛЕЙ ШАХТНЫХ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ

Выполнен анализ спектра частот настройки виброочистителей для ленточных конвейеров, применяемых в угольной промышленности, с учетом допустимых условий их эксплуатации. Определена ширина диапазона частот настройки для рассмотренных моделей конвейеров.

Ключевые слова: ленточный конвейер, вибрационный очиститель, очистка ленты.

Постановка проблемы

В сложных горнотехнических и горно-геологических условиях эффективность работы ленточных конвейеров резко снижается из-за интенсивного прилипания влажной горной массы к рабочим поверхностям конвейера и заштыбовки подконвейерного пространства просыпью транспортируемого груза, что вызывает необходимость периодической его очистки.

Перспективными являются очистители, реализующие бесконтактное вибрационное воздействие на загрязняющую примазку благодаря следующим преимуществам: исключение взаимного износа рабочей обкладки конвейерной ленты и рабочего органа очистителя, выведение рабочего органа очистителя из загрязненной зоны, меньшая зависимость от применяемых методов стыковки лент. Однако, несмотря на преимущества, виброочистка не получила широкого применения.

В связи с этим представляют научный интерес дальнейшие исследования вибрационных средств очистки конвейерных лент.

Анализ последних исследований и публикаций

Согласно проведенным исследованиям [1] установлено, что максимумы ускорений ленты в поперечном направлении, обеспечивающие максимальное качество виброочистки достигаются при частоте возмущения составляющей от 0,8 до 1,0 от собственной частоты ленты. В работе [2] В.Д. Зиневич и Ю.А. Пертен условием эффективности виброочистки также определяют частоту колебаний возмущающей силы равную и выше резонансной.

Однако проблема определения диапазона рациональных рабочих частот виброочистки (соответствующих резонансному режиму) для раз-

личных типов конвейеров в литературе [1,2] не рассматривалась.

Цель (задачи) исследования

Определение диапазона частот виброочистителей для эффективной очистки лент различных типов шахтных конвейеров.

Основной материал исследования

Согласно исследованиям, проведенным в работах [1,2], достаточным условием для обеспечения высокого качества виброочистки является совпадение частот собственных колебаний ленты и возмущающего воздействия, т.е. резонансный режим работы.

Вибрационный очиститель конвейерной ленты имеет следующую конструкцию (рис. 1). На раме ленточного конвейера 1 шарнирно закреплена рама вибрационного очистителя 2. Роликовый рабочий орган очистителя 3 взаимодействует с лентой 4, лежащей на роликоопоре 5. Колебания очистителя создаются электромагнитным вибровозбудителем, реализующим силу F . Расстояние от оси поворота очистителя до точки приложения силы пружины l_n .

Виброочиститель может быть рассмотрен как одномассовая система, совершающая крутильные колебания. Собственная частота виброочистителя вычисляется из следующего выражения [3]:

$$f_{0a} = \sqrt{\frac{c \cdot l_n^2}{I_0}},$$

где c – коэффициент жесткости пружин подвески; I_0 – момент инерции рамы очистителя с закрепленными на ней элементами относительно оси поворота.

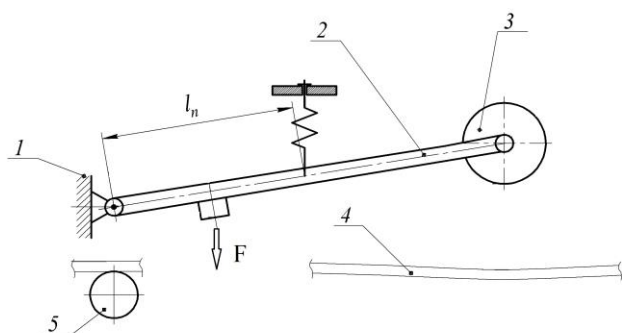


Рис. 1. Схема вибрационного очистителя конвейерной ленты

Для обеспечения качественной очистки ленты путем выбора соответствующих параметров виброочистителя должно быть реализовано совпадение данной частоты с собственной частотой ленты.

Собственная частота ленты определялась в соответствии с приведением ее распределенной массы к сосредоточенной, имеющей эквивалентный коэффициент жесткости [3]:

$$f_{0.l} = \sqrt{\frac{12S_{pб}}{q_l l^2}},$$

где $S_{pб}$ – натяжение ленты в месте очистки (на разгрузочном барабане); q_l – погонная масса ленты; l – длина пролета ленты в месте очистки.

Таким образом, собственная частота колебаний ленты зависит от погонной массы ленты q_l , длины пролета ленты l и натяжения ленты $S_{pб}$ в месте очистки.

Анализ конструкций конвейеров 1Л80, 1ЛТ80, 2Л80, 3Л80, 1ЛТ80, 1Л80УК, 1Л80УК-01, 1ЛТ800К, 1ЛТП800К, 1Л800Д, 1ЛТП800Д, 1Л100К, 1Л100, 1ЛУ100, 1ЛБ100, 2ЛУ100, 2ЛЛ100, 1Л1000, 1Л1000-01, 1Л100У-01, 2ЛТ100У, 2Л100У, 2Л100У-01, 2ЛТ100У-01, 3Л100У, 2Л1000, 3Л1000, 1ЛУ120, 2ЛУ120А, 2ЛУ120Б, 2ЛУ120В, 4Л1200Д, 4Л1400Д [4] показал, что расстояние l лежит в пределах 1,5...2,5 м.

Погонная масса резинотканевых лент [5] в зависимости от типа, количества прокладок и ширины изменяется в пределах 8,6...20,3 кг/м, резинотросовых – 20,5...48 кг/м.

Натяжение ленты в точке очистки $S_{pб}$ зависит от конкретных условий работы ленточного конвейера и может быть определено тяговым расчетом. На величину $S_{pб}$ определяющее влияние оказывают длина конвейера L , угол его установки β и эксплуатационная производительность Q , а также место установки привода (для бремсбергового конвейера).

При определении параметров виброочисти-

теля для конкретного типа конвейеров необходимо рассматривать весь спектр возможных условий его эксплуатации. Результатом такого подхода будет диапазон (спектр) частот настройки виброочистителя, для получения которого используем метод Монте-Карло [6,7,8]. Алгоритм исследования следующий:

1. Задание параметров конвейера.
2. Моделирование массивов из n значений случайных величин $L_i, Q_i, \beta_i (i=1...n)$ допустимых условий эксплуатации конвейера, а также места установки привода (для бремсбергового конвейера).
3. Тяговый расчет конвейера и определение натяжения ленты в точке установки очистного устройства $S_{pб}$.
4. Расчет массива значений частоты настройки виброочистителя.

Задание возможных значений эксплуатационной производительности осуществляется по формуле:

$$Q_i = k_{Q_i} Q_{max},$$

где k_{Q_i} – коэффициент использования производительности конвейера, $k_{Q_i}=0,6...1,0$; Q_{max} – максимальная приемная способность конвейера.

Угол установки конвейера β_i может быть принят случайным образом в диапазоне допустимых углов с учетом статистических данных [9]. Для бремсберговых конвейеров случайным образом задается место установки привода – вверху или внизу (эти положения приняты равновероятными).

Длина конвейера может быть принята по формуле:

$$L_i = k_{L_i} L_{max},$$

где k_{L_i} – коэффициент использования длины конвейера, $k_{L_i}=0,6...1,0$; L_{max} – максимальная длина конвейера.

Методику исследования можно описать следующим алгоритмом (рис. 2).

Для задания допустимой длины конвейера рассмотрим следующие расчетные случаи, соответствующие трем зонам работы конвейера:

- длина конвейера ограничена мощностью привода, режим работы привода тормозной;
- длина конвейера ограничена не мощностью привода, а его максимальной конструктивной длиной;
- длина конвейера ограничена мощностью привода, режим работы привода двигательный.

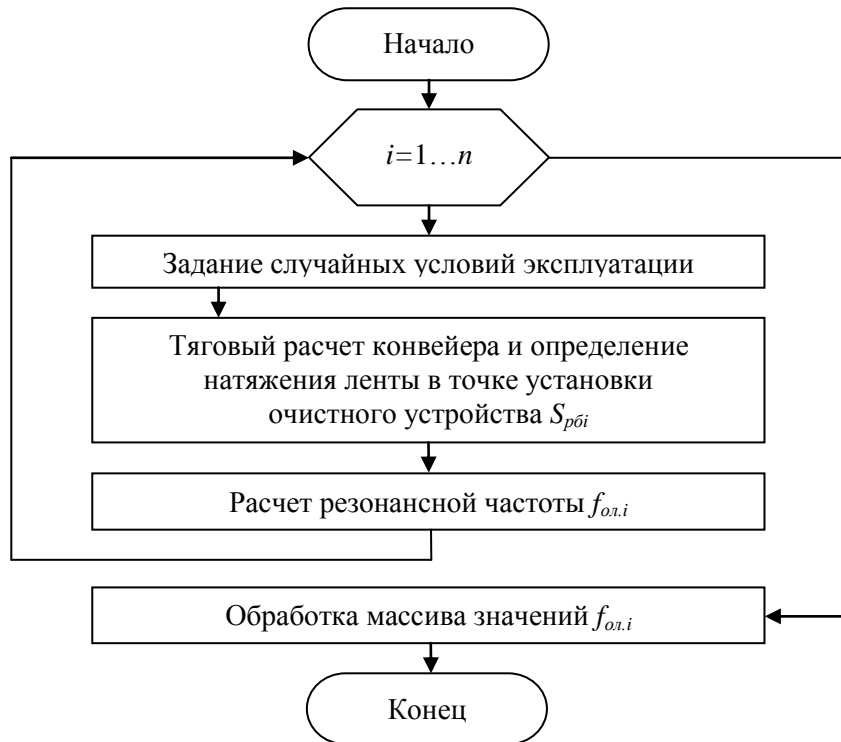


Рис. 2. Методика исследования конвейеров

Указанные расчетные случаи соответствуют трем зонам возможной работы конвейера, причем вторая зона работы конвейера соответствует как тормозному, так и двигательному режиму.

Для оценки режимов работы привода рассчитывается суммарный градиент сопротивления движению ленты на рабочей и грузовой ветвях:

$$(\omega_{zpi} + \omega_{n0pi}),$$

здесь ω_{zpi} – градиент сопротивления движению грузовой ветви:

$$\omega_{zpi} = (q_i + q_l + q'_p)\omega'k_c \cos\beta_i + (q_i + q_l)\sin\beta_i;$$

ω_{n0pi} – градиент сопротивления движению порожней ветви:

$$\omega_{n0pi} = (q_l + q''_p)\omega'k_c \cos\beta_i + q_l \sin\beta_i,$$

где $q'_p = G'_p/l'_p$, $q''_p = G''_p/l''_p$ – погонная масса вращающихся частей роликкоопор, соответственно грузовой и порожней ветвей; G'_p, G''_p – масса вращающихся частей роликкоопор, соответственно для поддержания рабочей и порожней ветвей ленты [10]; l'_p, l''_p – расстояние между роликкоопорами на грузовой и порожней ветвях (расстояние l'_p при ширине ленты конвейера $B=800, 1000$ и 1200 мм соответственно равно 1,3; 1,2 и 1,2 м. Расстояние между роликкоопорами порожней ветви равно двум расстояниям между роликкоопорами грузовой ветви $l''_p = 2l'_p$); ω' – коэффициент сопротивления движению ленты, $\omega' = 0,03 \dots 0,04$ [11]; $q_i = Q_i/3,6V$ – погонная масса груза на ленте; k_c – коэффициент, учитывающий местные сопротивления, $k_c = 1, 1 \dots 1,5$ [11].

Максимальная длина конвейера в заданных условиях:

$$L_{\max i} = \begin{cases} L_{Ni}, & \text{если } L_{Ni} < L_k; \\ L_k, & \text{если } L_{Ni} \geq L_k, \end{cases}$$

где L_{Ni} – максимально возможная длина конвейера по мощности привода N .

$$L_{Ni} = \begin{cases} \frac{1000N\eta}{k_m Vg ((q_i + 2q_l + q'_p + q''_p)\omega'k_c \cos\beta_i + q_i \sin\beta_i)}; & \text{если } \omega_{zpi} + \omega_{n0pi} \geq 0, \\ \frac{1000N}{k_m Vg\eta |(q_i + 2q_l + q'_p + q''_p)\omega'k_c \cos\beta_i + q_i \sin\beta_i|}; & \text{если } \omega_{zpi} + \omega_{n0pi} < 0. \end{cases}$$

где V – скорость движения ленты конвейера; k_m – коэффициент запаса мощности, $k_m = 1, 1 \dots 1,2$ [4]; g – ускорение свободного падения.

Поскольку исследуемый очиститель устанавливается непосредственно после разгрузочного барабана, то можно считать, что натяжение в месте очистки ленты равно натяжению в точке набегания ленты на разгрузочный ($S_{p\sigma i}$) барабан, которое можно определить по выражениям:

$$S_{p\delta i} = \begin{cases} \max(S_{zpi}^{\min}, S_{c\delta i}^{\min} + W_{zpi}), \text{ при } W_{0pi} < 0 \\ \text{и верхнем расположении привода;} \\ \max(S_{zpi}^{\min}, S_{c\delta i}^{\min} + W_{zpi} + W_{n0pi}), \text{ при } W_{0pi} < 0 \\ \text{и нижнем расположении привода;} \\ S_{н\delta} = W_{0pi} e^{\mu\alpha} \cdot (e^{\mu\alpha} - 1)^{-1}, \text{ при } W_{0pi} \geq 0, \end{cases}$$

где W_{zpi} – сопротивление движению грузовой ветви конвейера; W_{n0pi} – сопротивление движению порожней ветви конвейера; W_{0pi} – общее тяговое усилие конвейера; S_{zpi}^{\min} – минимальное натяжение на грузовой ветви конвейера по условию максимального провеса ленты между роликотпорами; $S_{c\delta i}^{\min}$ – минимальное натяжение ленты в точке ее сбега с приводного барабана по условию отсутствия пробуксовки:

$$S_{c\delta i}^{\min} = \begin{cases} \frac{|W_{0pi}| e^{\mu\alpha} k_m}{e^{\mu\alpha} - 1}, \text{ если } W_{0pi} < 0; \\ \frac{W_{0pi} k_m}{e^{\mu\alpha} - 1}, \text{ если } W_{0pi} \geq 0, \end{cases}$$

где k_m – коэффициент запаса сил трения, $k_m = 1,3 \dots 1,5$ [4]; $e^{\mu\alpha}$ – значение тягового фактора [4].

Исследования, проведенные для разных типов конвейеров, позволили выявить два характерных вида спектра частот настройки виброочистителя: 1) большинство частот сосредоточено в двух областях спектра (рис. 3), имеется «провал» в спектре частот (62,5 % рассматриваемых конвейеров); 2) большинство частот сосредоточено в одной области спектра (рис. 4), (37,5 % рассматриваемых конвейеров).

Для всех типов исследуемых конвейеров диапазон резонансных частот лежит в пределах от 7 до 310 с⁻¹ (303 с⁻¹), а спектр резонансных частот будет иметь вид, представленный на рис. 5.

Выводы

Установлено, что рациональная частота виброочистки определяется условиями эксплуатации конвейера (длина, угол установки, эксплуатационная производительность, место установки привода для бремсбергового конвейера) и его параметрами (тип ленты, мощность привода, скорость движения ленты и др.). Предложен оригинальный алгоритм для анализа спектра частот настройки виброочистителей для шахтных ленточных конвейеров с учетом допустимых условий их эксплуатации. В результате анализа установлено, что ширина диапазона частот настройки для рассмотренных моделей конвейеров находится в пределах от 7 до 310 с⁻¹ и составляет 303 с⁻¹.

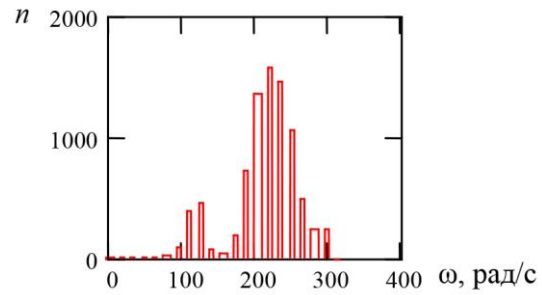


Рис. 3. Спектр резонансных частот для конвейера 1ЛТ100У

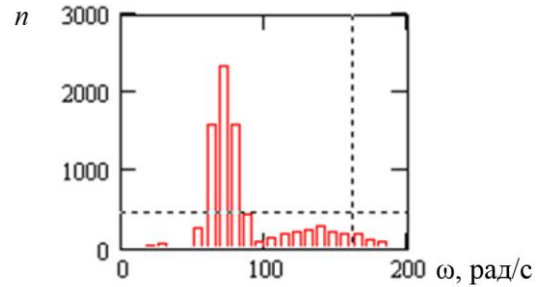


Рис. 4. Спектр резонансных частот для конвейера 3ЛТ100У

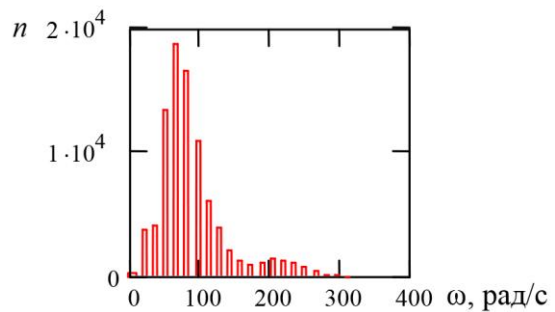


Рис. 5. Спектр резонансных частот для всех типов исследуемых конвейеров

Список литературы

1. Кондрахин, В.П. Установление закономерностей процесса вибрационной очистки конвейерной ленты / В.П. Кондрахин, Е.М. Арефьев // Перспективы развития глазами молодых ученых: Материалы VI научно-практической конференции «Донбасс-2020», 23-26.04.2012, Донецк. – Донецк: ДонНТУ, 2012. – С. 393-396.
2. Зиневич, В.Д. Вибрационная очистка конвейерной ленты / В.Д. Зиневич, Ю.А. Пертен // Горные машины и автоматика. – М.: ЦИТИ угля, 1961. – С. 33-39.
3. Исследование режимов работы вибрационного очистного устройства конвейерных лент / В.А. Будишевский и др. // Проблемы эксплуатации обладнання шахтних стаціонарних установок: збірник наукових праць. – Донецьк: ВАТ «НДІГМ ім. М.М. Федорова», 2008-2009. – С. 383-395.

4. Справочник по шахтному транспорту. Под ред. Г.Я. Пейсаховича, И.П. Ремизова. – М.: Недра, 1977. – 624 с.
5. Теоретические основы и расчеты транспорта энергоемких производств / В.А. Будишевский и др. Под общ. ред. д.т.н. В.П. Кондрахина. – Донецк: ДонНТУ, 2017. – 216 с.
6. Application of direct simulation Monte Carlo method to ecological objects modeling. Modeling a tundra animals population / Д.А. Саранча и др. // 5th Conference of the European Society of the Mathematical and Theoretical Biology, 02-06.07.2002, Milano. – P. 118-226.
7. Kalos, M.H. Monte Carlo Methods / M.H. Kalos, P.A. Whitlock. – 2nd edition. – Wiley, 2008. – 211 p.
8. Kroese, D.P. Handbook of Monte Carlo Methods / D.P. Kroese, T. Taimre, Z.I. Botev. – Wiley, 2011. – 743 p.
9. Методика оценки и классификации показателей разрушаемости угольных пластов основных бассейнов СССР. Часть 2. – М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1978. – 60 с.
10. Расчеты и проектирование транспортных средств непрерывного действия / А.И. Барышев и др. Под ред. проф., д.т.н. В.П. Кондрахина. – Донецк: ДонНТУ, 2017. – 689 с.
11. Шахтный транспорт / А.И. Будишевский и др. Под ред. проф., д.т.н. В.П. Кондрахина. – Донецк: ДонНТУ, 2017. – 49 с.

Е.М. Arefjev /Cand. Sci. (Eng.)/

Donetsk National Technical University (Donetsk)

А.П. Kiryan

Academy of Civil Protection (Donetsk)

DETERMINATION OF FREQUENCY RANGE SETTINGS OF VIBRATION CLEANERS FOR MINE BELT CONVEYORS

Background. *In severe mining conditions, the efficiency of belt conveyors depends on the quality of cleaning tapes. Vibration cleaners are promising due to the following advantages: the elimination of mutual wear of the working plate of the conveyor belt and the working body of the cleaner; the removal of the working body of the cleaner from the contaminated area; less dependence on the methods used for joining the belts. In this regard, the study of vibration cleaners for conveyor belts is of scientific interest.*

Materials and/or methods. *The rational frequency of vibration cleaning determined by the operating conditions of the conveyor (length, angle of installation, operational performance, place of installation of the drive for the inclined conveyor) and its parameters (a type of belt, drive power, belt speed). When determining the parameters of the vibration cleaner for a particular type of conveyor, it is necessary to consider the entire range of possible conditions of its operation. The result of this approach is the frequency range (spectrum) of the setting of the vibration cleaner, for which the Monte Carlo method used.*

Results. *Studies carried out for different types of conveyors revealed two specific types of the frequency range of vibration cleaner tuning. 1. Most of the frequencies concentrated in two spectral regions, there is a “failure” in the frequency spectrum (62.5 % of the considered conveyors). 2. Most of the frequencies concentrated in one spectral region (37.5 % of the considered conveyors). For all types of conveyors under study, the range of resonant frequencies ranges is from 7 to 310 s⁻¹.*

Conclusion. *An original algorithm proposed to analyze the spectrum of frequency settings of vibration cleaners for mine belt conveyors, taking into account the permissible conditions of their operation.*

Keywords: *belt conveyor, vibration cleaner, belt cleaning.*

Сведения об авторах

Е.М. Арефьев

SPIN-код: 2201-2812

Телефон: +380 (71) 387-34-15

Эл. почта: elcross@mail.ru

А.П. Кирьян

Телефон: +380 (71) 387-34-15

Эл. почта: andrei-kiryan@mail.ru

Статья поступила 10.06.2019 г.

© Е.М. Арефьев, А.П. Кирьян, 2019

Рецензент д.т.н., проф. А.П. Кононенко