

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА КОНТАКТНОЙ ЖЕСТКОСТИ КОНВЕЙЕРНОЙ ЛЕНТЫ ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

*Рассмотрены виды очистных устройств ленточных конвейеров, определены тенденции развития средств очистки конвейерных лент, рассмотрен вопрос определения контактной жесткости конвейерной ленты при ее взаимодействии с роликовым рабочим органом виброочистного устройства.*

**Ключевые слова:** конвейерная лента, вибрационная очистка, контактная жесткость, рабочий орган очистного устройства.

### Постановка проблемы

Во всех промышленных отраслях активно используются подъемно-транспортные машины непрерывного действия, особенно в перерабатывающих отраслях и горнодобывающей промышленности. Наиболее эффективными и высокопроизводительными средствами непрерывного транспорта в горной промышленности являются ленточные конвейеры. Очистка ленты от налипающей на нее горной массы является одной из важнейших операций при эксплуатации ленточных конвейеров на горных предприятиях. Неудовлетворительная очистка ленты вызывает ее повышенный износ, увеличение количества аварийных остановок, приводит к интенсивному загрязнению подконвейерного пространства просыпью транспортируемого груза, очистка которого является трудоемкой (около 25 % объема ручных работ по обслуживанию конвейеров) и небезопасной (около трети всех несчастных случаев на предприятиях горной промышленности) операцией. Конвейерный транспорт характеризуется такими недостатками, как износ рабочих элементов конвейера (роликов и ленты конвейера). Замена ленты и роликов требует больших технологических и экономических затрат.

Причиной износа рабочих элементов конвейера является налипание на ленту транспортируемого материала, который в процессе эксплуатации скапливается на поддерживающих роликах, что, соответственно, препятствует их вращению. Следствием остановки роликов может быть сход ленты. Лента конвейера с налипшим слоем «стачивает» поддерживающие ролики, а ролики срезают рабочий слой ленты [1]. Данная проблема решается за счет своевременной очистки ленты в

процессе эксплуатации конвейера, что оказывает значительное влияние на уменьшение эксплуатационных затрат и значительно увеличивает срок службы всего оборудования [2].

Эффективность работы средств очистки конвейерных лент, используемых в горнодобывающей промышленности, в основном составляет от 35 % до 50 %, что не соответствует современным требованиям.

Низкое качество очистки ленты приводит к заштыбовке подконвейерного пространства, децентрированному движению и повышенному износу конвейерной ленты.

Работа очистителя ленты в оптимальном режиме позволяет увеличить срок службы конвейерной ленты, повысить надежность работы роликоопор, сократить простой, расход электроэнергии и трудозатраты.

Анализ известных устройств для очистки лент позволяет сделать вывод о том, что вибрационные очистители являются наиболее перспективными. Их применение позволяет увеличить срок службы конвейерной ленты до 45...80 % по сравнению со скребковыми очистителями. Вибрационные очистители конвейерных лент обладают следующими достоинствами: отсутствие изнашивания рабочей обкладки конвейерной ленты и рабочего органа очистителя, снижение коэффициента сопротивления движению конвейерной ленты, постоянная во времени степень очистки ленты, выведение рабочего органа очистителя из загрязненной зоны и т.п.

Для корректного математического описания процесса виброочистки необходимо учитывать контактные взаимодействия рабочего органа очистителя и ленты.

### Анализ последних исследований и публикаций

Среди очистных устройств конвейерных лент наибольшее распространение получили скребки, технические щетки, роликовые и вибрационные, гидравлические и пневматические очистители, механизмы переворота ленты для очистки ее обратной стороны [3...8]. Применяемые очистительные устройства должны обеспечивать полную очистку ленты и максимальную сохранность очищаемой поверхности.

Наиболее распространенными средствами очистки конвейерных лент являются скребковые очистители. Изнашивание рабочей поверхности скребка происходит неравномерно и зависит от вида транспортируемого материала. При транспортировке относительно сухого абразивного материала влажностью до 8 % у скребка изнашивается средняя часть рабочей поверхности. При очистке лент от пластичного влажного материала наибольший износ наблюдается по краям скребка. Из-за неплотного прилегания скребка к ленте, из-за изнашивания в процессе эксплуатации между рабочей поверхностью и конвейерной лентой остается незначительная часть материала.

Сложность решения проблемы качественной очистки ленты заключается в следующем: в литературе по подъемно-транспортным машинам непрерывного действия данной проблеме уделяется мало внимания; на данный момент промышленность не изготавливает серийно эффективные устройства для очистки лент, а поставляемые в комплекте с конвейерами, не соответствуют современным требованиям к качеству очистки ленты; требования на проектирование конвейерных систем предусматривают мероприятия по соблюдению чистоты подконвейерного пространства; отсутствует единая методика оценки эффективности очистных устройств; профилактика заштыбовки конвейеров и ее последствий после огибания лентой разгрузочного барабана является низкоэффективной.

### Цель (задачи) исследования

Целью исследования является установление коэффициента контактной жесткости при взаимодействии цилиндрического рабочего органа виброочистного устройства с конвейерной лентой.

### Основной материал исследования

Реализуемые в процессе виброочистки силы контактного взаимодействия очистителя и ленты не оказывают существенного влияния на ее долговечность [9].

Установлено, что в качестве целевой функции при оптимизации параметров виброочистителей целесообразно использовать сравнительную годовую экономическую эффективность, а в качестве базового варианта принять наиболее распространенные скребковые очистные устройства. Оптимизируемыми параметрами, определяющими качество виброочистки, целесообразно принять частоту возмущения, отношение собственных частот очистителя и ленты, расстояние между осями поворота рамы очистителя и рабочего органа, амплитуду момента силы магнита [10].

Современная очистка конвейерных лент основывается на положениях [11,12]:

1. Современные технические средства очистки лент действуют по принципу сдвига или отрыва налипающего слоя от ленты.

2. Техничко-экономическим анализом дедуктивной классификации установлено, что на современном этапе развития техники и технологий наиболее целесообразна очистка лент твердодомкательным устройством секционного типа очистных элементов.

3. Для достижения высокой степени очистки ленты необходимо и достаточное соотношение действующих на элемент сил:

$$P_{\beta} \geq P_{\beta} + P_{h} + P_{m}, \quad (1)$$

где  $P_{\beta}$  – сила поджатия элемента и ленты, Н;  $P_{\beta}$  – сила, обусловленная давлением и перемещением потока породы по встречной плоскости элемента, Н;  $P_{h}$  – сила, обусловленная расклинивающим давлением потока породы в зазоре между элементом и лентой, Н;  $P_{m}$  – сила тяжести элемента с учетом его брутто-массы с налипшей породой, Н.

На силу поджатия элемента и ленты оказывает влияние контактная жесткость ленты. Определение коэффициента контактной жесткости при взаимодействии рабочего органа очистителя с лентой проводилось на специальном стенде. Схема стенда для экспериментального определения зависимости глубины деформации от силы, с которой рабочий орган воздействует на ленту, представлена на рис. 1.

Фрагмент конвейерной ленты располагался на ровном твердом основании. На ленте устанавливался роликовый рабочий орган виброочистителя. К верхней образующей рабочего органа в двух крайних точках прикладывались штоки индикаторов часового типа ИЧ10 ГОСТ 577-68. Сами индикаторы были зафиксированы относительно твердого основания, на котором располагался фрагмент ленты. Фактором эксперимента явля-

лась сила, с которой рабочий орган воздействует на ленту,  $P_{кж}$ . Откликом системы при изменении фактора являлась глубина деформации  $\Delta_{кж}$ .

Требуемое значение силы  $P_{кж}$  создавалось путем подвешивания к оси роликового рабочего органа виброочистителя груза весом  $P_{кж \cdot гр}$  и с учетом веса рабочего органа  $P_{р.о}$  составляло:

$$P_{кж} = P_{кж \cdot гр} + P_{р.о} \quad (2)$$

Затем фиксировались показания индикаторов часового типа, соответственно, первого,  $\Delta_{кж1}$ , и второго,  $\Delta_{кж2}$ , и определялось их среднее значение:  $\Delta_{кж} = \Delta_{кж1} + \Delta_{кж2}$ .

Результаты экспериментальных исследований и линия уравнения регрессии связи глубины деформации ленты  $\Delta_{кж1}$  с силой, действующей на рабочий орган очистителя  $P_{кж}$ , представлены на рис. 2.

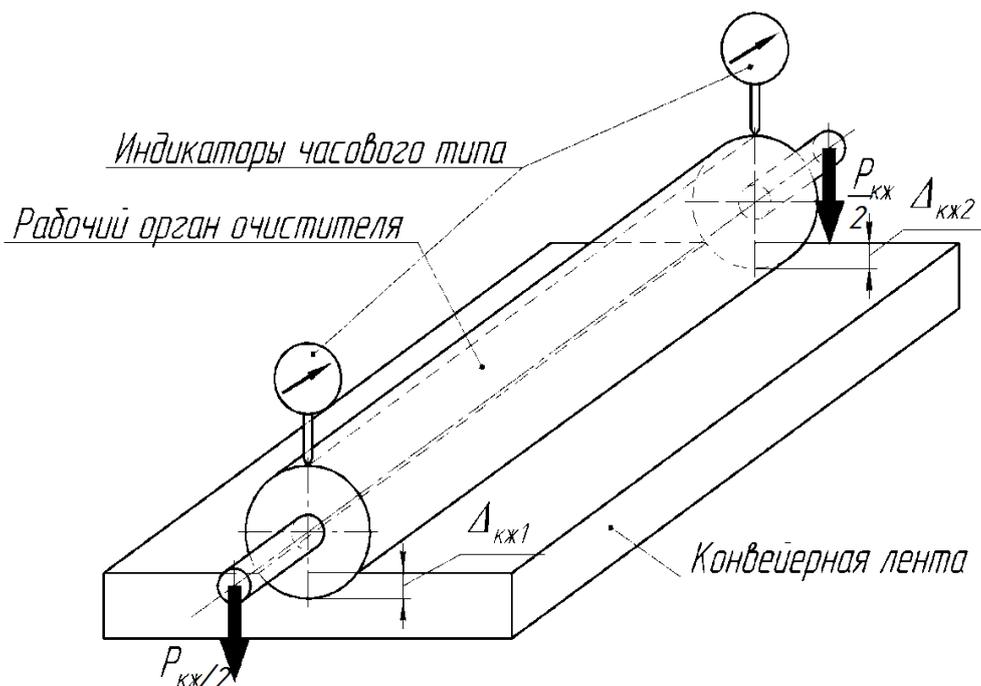


Рис. 1. Схема стенда для экспериментального определения зависимости глубины контактной деформации ленты от приложенной к ролику силы

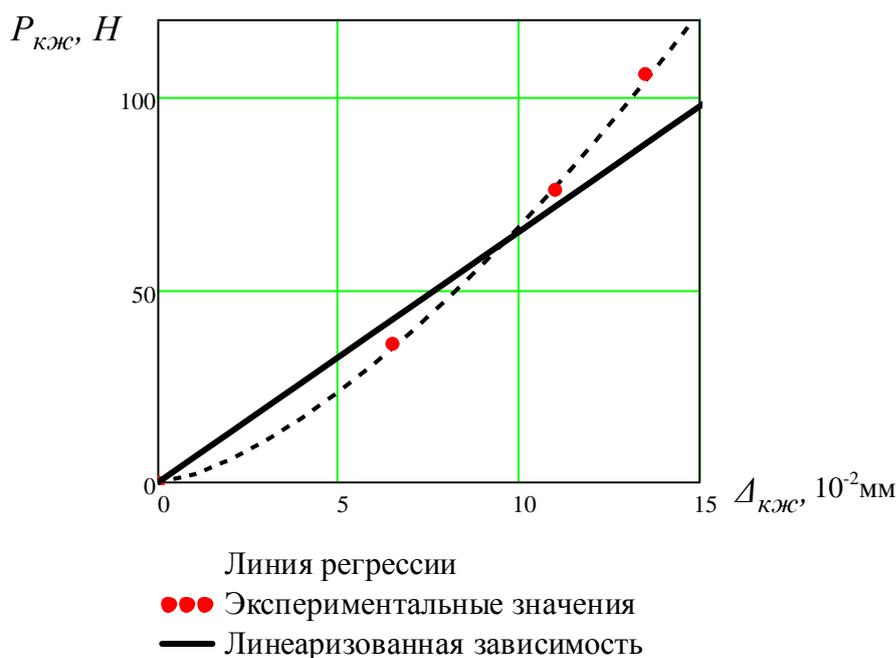


Рис. 2. Результаты экспериментальных исследований и линия уравнения регрессии связи глубины деформации ленты  $\Delta_{кж}$  с силой  $P_{кж}$

Согласно [12] при соприкосновении тел конечных размеров зависимость между силой  $P_{кжс}$  и глубиной деформации  $\Delta_{кжс}$  можно представить в виде:

$$P_{кжс} = c_1 \Delta_{кжс, \max}^{1.5}, \quad (3)$$

где  $c_1$  – коэффициент уравнения регрессии.

Коэффициент уравнения регрессии определялся методом наименьших квадратов и составил:  $c_1=2,1$ . Значение критерия Фишера [13] меньше табличного при уровне значимости  $\alpha_f=0,05$ , следовательно, полученное уравнение регрессии адекватно экспериментальным данным.

Для того чтобы применить линейную модель Гука к описанию процесса взаимодействия рабочего органа очистителя, требуется провести линеаризацию уравнения Герца. Такая линеаризация может проводиться из условия равенств работы деформирования и максимального внедрения при степенном,  $A_{ст}$ , и линейном,  $A_{л}$ , законах деформирования в диапазоне рабочих деформаций  $\Delta_{кжс}=0 \dots \Delta_{кжс, \max}$  [14].

$$A_{ст} = \int_0^{\Delta_{кжс, \max}} c_1 \Delta_{кжс}^{1.5} d\Delta_{кжс}, \quad (4)$$

$$A_{л} = \int_0^{\Delta_{кжс, \max}} c_{кжс} \Delta_{кжс} d\Delta_{кжс}. \quad (5)$$

Приравнявая выражения (4) и (5), можно определить коэффициент контактной жесткости:

$$c_{кжс} = 0,8 \Delta_{кжс, \max}^{0,5}. \quad (6)$$

Значение коэффициента контактной жесткости составило 650 Н/мм.

### Выводы

Таким образом, получена зависимость контактной жесткости конвейерной ленты при ее взаимодействии с роликовым рабочим органом вибрационного очистителя.

Эта зависимость может быть использована при моделировании процесса вибрационной очистки.

### Список литературы

1. Устройства для очистки лент конвейеров в СССР. Обзор / Г.С. Ненахов [и др.]. – М.: ВНИИПИ, 1985. – 60 с.

2. Ленточные конвейеры / И.М. Тарасов. – М.: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной и судостроительной литературы, 1963. – 216 с.
3. Конвейеры. Справочник / Р.А. Волков [и др.], под общ. ред. Ю.А. Пертена. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1984. – 367 с.
4. Тарасов, Ю.Д. Очистка подконвейерного пространства на предприятиях нерудной промышленности. – Л.: Стройиздат, Ленинградское отделение, 1983. – 192 с.
5. Maintenance, diagnostics and safety of belt conveyors in the operations / M. Hardygora et al. // Transport & Logistics. – 2009. – No.6. – P. 351-354.
6. A maintenance strategy for drive units used in belt conveyors network / R. Zimroz et al. // 22nd World Mining Congress & Expo., Istanbul, September 11-16. – 2011.Vol.1. – P. 433-440.
7. Mazurkiewicz, D. Computer system for monitoring conveyor belt joints // Canadian Mining Journal. – 2007. – No.5. – P. 23-24.
8. Николаев, Е.Д. Теоретические, экспериментальные и практические исследования очистки конвейерных лент / Е.Д. Николаев, Л.С. Костерин, В.П. Дмитриин // Горный журнал. – 2000. – №4. – С. 45-49.
9. Кондрахин, В.П. Оценка влияния виброочистки на срок службы конвейерной ленты / В.П. Кондрахин, Е.М. Арефьев, Н.В. Хиценко // Вестник ХНАДУ. – 2012. – Вып.57. – С. 292-295.
10. Чаплыгин, В.В. Практичная теория очистки конвейерных лент / В.В. Чаплыгин, Е.Д. Николаев // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. – 2015. – №2(12). – С. 9-18.
11. Николаев, Е.Д. Создание эффективного очистителя конвейерных лент от налипающих пород: автореф. дис.... канд. техн. наук: 05.05.06 / Николаев Евгений Дмитриевич. – Новосибирск, 1991. – 17 с.
12. Тимошенко, Г.М. Теория инженерного эксперимента: учебное пособие / Г.М. Тимошенко, П.Ф. Зима. – Донецк: ДПИ, 1984. – 60 с.
13. Будишевский, В.А. Сравнительный анализ технологий очистки конвейерных лент / В.А. Будишевский, Е.М. Арефьев // Вести Донецкого горного института. – 2009. – №2(30). – С. 47-53.
14. Коваль, А.В. О жесткости конвейерной ленты при изгибе / А.В. Коваль, А.С. Овсянников, И.А. Шпакунов // М.: Недра, 1970. – Вып.11. – С. 77-80.

I.M. Ariefiev /Cand. Sci. (Eng.)/, S.A. Matvienko /Cand. Sci. (Eng.)/  
 Donetsk National Technical University (Donetsk)

**EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE CONTACT RIGIDITY COEFFICIENT OF THE CONVEYOR BELT OF CONTINUOUS ACTION CONVEYING MACHINES**

**Background.** The process of the belt cleaning from the stuck rock mass is of great importance for the operational reliability of belt conveyors. The low quality of the belt cleaning causes its increased wear, the increase in the number of emergency stops, intensive contamination of the sub-conveyor space. The quality of the belt cleaning is affected by the force of the element compression directly dependant on the contact rigidity of the belt.

**Materials and/or methods.** The experiment carried out according to the following scheme. A fragment of the conveyor belt located on a flat solid base. The roller working body of vibrational cleaner installed on the belt. The rods of the dial indicators applied to the upper generatrix of the working body in its two final points. The indicators fixed on a solid base on which a fragment of the belt was based. The factor of the experiment was the effect of the working body on the belt. The response of the system when the factor changed was the depth of the deformation. The required value of force was created by hanging load to the axis of the roller working body of the vibration cleaner. Further, the average value of the indicators determined.

**Results.** The coefficient of the regression equation determined by the method of least squares and was  $c_1=2.1$ . The contact stiffness coefficient was 650 N/mm.

**Conclusion.** The dependence of the contact stiffness of the conveyor belt in its interaction with the roller working body of the vibration cleaner obtained. This dependence can be used in the simulation of the vibration cleaning process.

**Keywords:** conveyor belt, vibration cleaning, contact stiffness, working body of the cleaning device.

**Сведения об авторах**

**Е.М. Арефьев**

SPIN-код: 2201-2812  
 Телефон: +380 (71) 387-34-15  
 Эл. почта: elcross@mail.ru

**С.А. Матвиенко**

SPIN-код: 5117-2172  
 Телефон: +380 (71) 367-80-09  
 Эл. почта: serge-matvienko@yandex.ru

Статья поступила 28.02.2019 г.

© Е.М. Арефьев, С.А. Матвиенко, 2019  
 Рецензент д.т.н., проф. В.П. Кондрахин

**ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПРОЕКТ**

**МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ  
ПРОЦЕССЫ И ОБОРУДОВАНИЕ**



**metal.donntu.org**

