

УДК 622.61

**В.А. Будишевский**, канд. техн. наук, проф.,  
**Е.М. Арефьев**, инж., ассистент,  
**А.В. Лавшонок**, канд. техн. наук, доц.,  
**А.И. Хиценко**, канд. техн. наук, доц.,  
Донецкий национальный технический университет,  
**В.А. Яценко**, канд. техн. наук, нач. отд. транспорта,  
НИИ горной механики им. М.М. Федорова

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ВИБРООЧИСТИТЕЛЯ КОНВЕЙЕРНОЙ ЛЕНТЫ С СИМИСТОРНОЙ СИСТЕМОЙ УПРАВЛЕНИЯ**

*Проведено экспериментальное исследование рабочего процесса вибрационного очистителя конвейерной ленты с симисторной системой управления. Обоснованы требования к конструкции и алгоритму функционирования его системы управления.*

**микропроцессорная система управления, вибрационный очиститель, конвейерная лента, экспериментальное исследование**

***Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.*** Значительная доля отказов (до 30%) и аварийных простоев (до 20%) транспортных систем обусловлены неудовлетворительной очисткой рабочих органов машин и пунктов перегрузки от налипшей горной массы. 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.

Перспективными являются очистители, принцип действия которых основан на отрыве примазок от конвейерной ленты, что объясняется их достоинствами: выведение рабочего органа очистителя из загрязненной зоны и исключение взаимного износа рабочей обкладки конвейерной ленты и рабочего органа очистителя, обеспечение неизменной во времени степени очистки и т.д.

***Анализ исследований и публикаций.*** В работе [1] проведен анализ существующих конструкций вибрационных очистителей конвейерных лент и разработана их классификация по структурным признакам. В монографии [2] Тарасов Ю.Д. описывает конструкции очистных устройств различных типов, в том числе и вибрационных.

Наиболее перспективным является электромагнитный привод виброочистителя, в связи с тем, что он обладает рядом существенных достоинств: низкие удельные капиталовложения и эксплуатационные расходы, высокая производительность, простота конструкции и высокая надежность в работе и т. д.

Однако в доступных источниках нет исследований по обоснованию требований к конструкции и алгоритму функционирования системы управления виброочистителя.

**Постановка задачи.** Целью работы является обоснование на базе натурального эксперимента требований к конструкции и алгоритму функционирования системы управления привода виброочистителя.

**Изложение материала и результаты.** Для работы электромагнитного вибровозбудителя необходим источник переменного напряжения с возможностью регулирования его параметров, что позволит настраивать режим работы виброочистителя в зависимости от условий эксплуатации (натяжение ленты в месте очистки, скорость ее движения и т.д.). Переменное напряжение формируется силовым коммутирующим элементом под управлением микропроцессорной системы управления на базе выпрямленного и (в некоторых случаях) сглаженного напряжения. Формирование постоянного напряжения для токов, которые потребляет электромагнитный вибровозбудитель, затруднительно, поскольку для этого необходимы громоздкие, дорогостоящие и взрывоопасные схемы фильтрации. В связи с этим представляет интерес рассмотреть систему управления электромагнитным вибровозбудителем путем коммутации выпрямленного напряжения.

Коммутировать выпрямленное напряжение можно с использованием транзисторных и тиристорных (симисторных) схем управления. Тиристорные схемы, в свою очередь, обладают существенными достоинствами: меньший нагрев и габариты, возможность использования относительно простых схем управления с опторазвязкой, отсутствие специальных драйверов и т.д.

Схемы управления можно разделить на два вида: автономные – несинхронизированные с питающей сетью, и синхронизированные схемы. Автономные системы являются наиболее простыми и могут эффективно использоваться при частоте формируемых импульсов значительно ниже частоты сети.

Для экспериментальных исследований автономной симисторной системы управления приводом виброочистителя конвейерной ленты

был спроектирован и изготовлен стенд, общая конструктивная схема которого показаны на рис. 1.

■ - места установки вибродатчиков

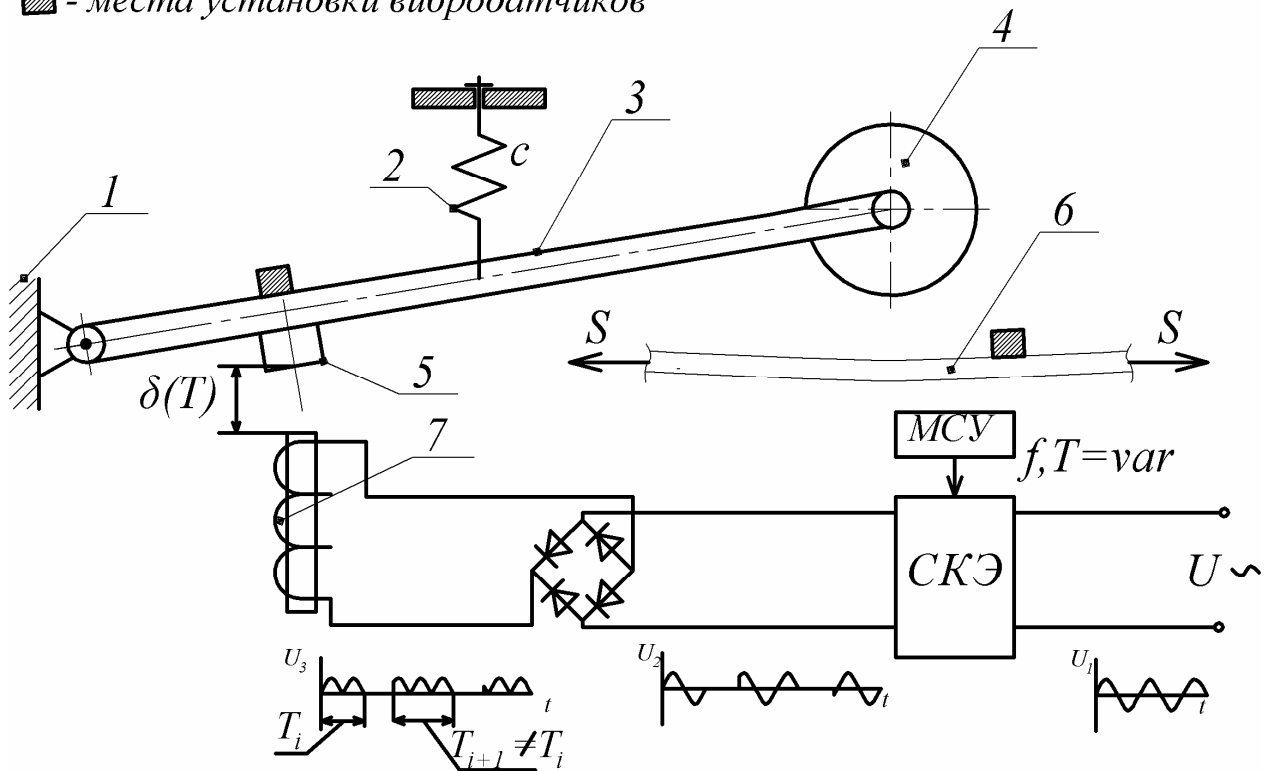


Рисунок 1 – Схема стенда

Стенд состоит из виброочистителя, установленного на действующей модели конвейера (масштабный фактор 1:3). Виброочиститель включает в себя шарнирно закрепленную на стойке 1 и подвешенную на пружинах 2 раму 3, на которой установлены роликовый рабочий орган 4 и якорь электромагнита 5. Якорь притягивается к ярму электромагнита 7, частота работы которого регулируется при помощи системы управления, которая включает силовой коммутирующий элемент СКЭ, управляемый при помощи микропроцессорной системы управления МСУ, и выпрямительный мост. Рабочий орган очистителя взаимодействует с лентой 6, сообщая ей колебательные движения заданной частоты. При этом МСУ реализует требуемую рабочую частоту  $f$  и скважность  $T$  импульсов включения магнита. Получаемое на выходе СКЭ напряжение  $U_2$  вследствие особенностей коммутации симистора (отключение только при переходе напряжения через ноль) имеет переменную длительность импульсов  $T_i$  и пауз (погрешность до 10 мс), что может приводить к нестабильной работе виброочистителя.

Факторами эксперимента являются: натяжение ленты  $S$ , жесткость пружин подвески очистителя  $c$  и рабочая частота виброочистки

*f.* Изменение указанных величин позволит регулировать следующие характеристики установки:

- собственную частоту рабочего органа виброочистителя:

$$f_{0po} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{c \cdot h^2}{J}},$$

где  $h$  - плечо пружин подвески;  $J$  - момент инерции рабочего органа (суммарный рамы, ролика и якоря электромагнита) относительно оси его установки;

- собственную частоту конвейерной ленты:

$$f_{0л} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{c_{лпр}}{m_{пр}}},$$

где  $c_{лпр}$ ,  $m_{пр}$  - приведенная жесткость и приведенная масса конвейерной ленты.

Приведенная к середине пролета масса конвейерной ленты может быть определена из равенства кинетических энергий (см. рис. 2):

$$\frac{m_{пр} V_{пр}^2}{2} = \sum \frac{m_i V_i^2}{2},$$

где  $V_{пр}$  - скорость поперечных колебаний ленты посередине пролета;  $m_i, V_i$  - масса и скорость  $i$ -того элементарного участка ленты длиной  $\Delta x$ .

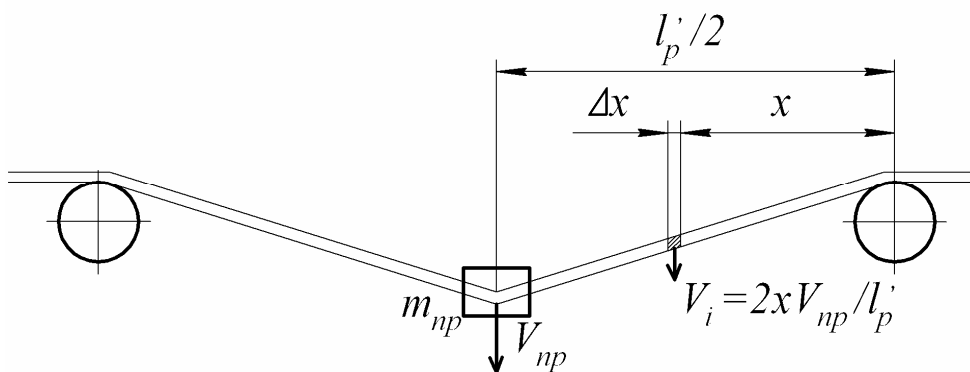


Рисунок 2 - К определению приведенной массы ленты

С учетом треугольной эпюры скорости поперечных колебаний ленты

$$V_i = 2xV_{пр} / l'_p,$$

где  $l'_p$  - пролет между роликсопорами.

В результате преобразований получим

$$m_{np} = \frac{q_l l'_p}{3},$$

где  $q_l$  - погонная масса ленты.

Для определения приведенной жесткости ленты воспользуемся расчетной схемой, представленной на рис. 3. На схеме обозначены:  $y_1$ - провес ленты в середине пролета под действием собственного веса  $G_0$ ;  $y_2$ - дополнительный провес ленты под действием силы  $F$ ;  $u_0$ ,  $u$ - углы, соответствующие провесу ленты от сил  $G_0$  и  $G_0 + F$ ;  $S$ - сила натяжения ленты в месте очистки.

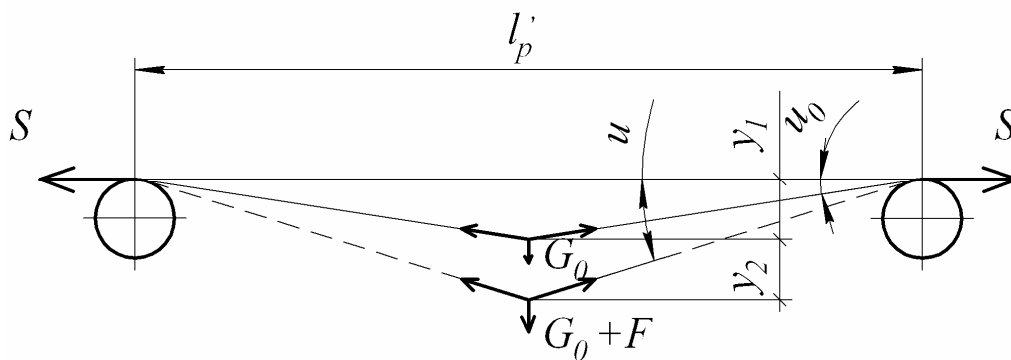


Рисунок 3 - К определению приведенной жесткости ленты

Приведенная жесткость ленты определяется как отношение силы, действующей на ленту, к перемещению ленты, вызванному этой силой:

$$c_{np} = \frac{F}{y_2},$$

откуда с учетом малых значений  $u$  и  $u_0$  можно получить

$$c_{np} = \frac{4S}{l'_p}.$$

Методика проведения эксперимента сводилась к следующему. Фиксировались параметры конвейера и виброочистителя: натяжение ленты и жесткость пружин подвески очистителя. Натяжение ленты определялось путем предварительной тарировки динамометром винтового натяжного устройства. Необходимая жесткость подвески создавалась набором тарированных пружин. При помощи МСУ вибровозбудителем задавалась частота колебаний и фиксировались показания виброскорости очистителя и ленты.

Для измерений виброскорости использовался виброанализатор «Топаз» с датчиком вибрации РА-023. Технические характеристики виброанализатора «Топаз» приведены в табл. 1.

Таблица 1 - Технические характеристики виброанализатора «Топаз»

Количество измерительных каналов	1, (4, 16 или 64 с мультиплексором)
Частотный диапазон	0,3...40000 Гц
Погрешность измерений	< 5%
Функции обработки	Общий уровень, пик-фактор, эксцесс (состояние подшипников качения); амплитуда/фаза, спектр, форма сигналов, характеристики разгона/выбега, каскады спектров, спектры ударного возбуждения, спектры огибающих сигнала, дамп временного сигнала
Количество линий спектра	100, 200, 400, 800, 1600

Планом эксперимента предусматривалось проведение шестнадцати опытов. Для каждого из двух уровней натяжения ленты (750 и 1500 Н) включались пружины жесткостью 37 Н/мм и 74 Н/мм. При этом частота вибровозбудителя менялась дискретно в диапазоне от 7,39 до 14,29 Гц.

На рисунке 4 показаны реализации и спектры распределения по частотам виброскорости конвейерной ленты. При работе очистителя на частоте 8,3 Гц по сравнению с работой на частоте 14,29 Гц наблюдаются более низкие значения виброскорости и сложный характер колебаний ленты. При этом в спектре присутствует гармоника более высоких частот.

Относительно стабильные колебания ленты на частоте 14,29 Гц наблюдались при всех значениях натяжения ленты и жесткости пружин подвески. Это объясняется тем, что из всего диапазона частот, реализованных МСУ, данная  $f=14,29$  Гц является наиболее близкой к кратной частоте выпрямленного напряжения  $f_0=100$  Гц. Однако при работе виброочистителя наблюдалось чередование достаточно длительных (порядка одной – двух минут) периодов стабильной и нестабильной работы, это объясняется тем, что отношение  $f/f_0=100/14,29=6,998$  не является целым числом.

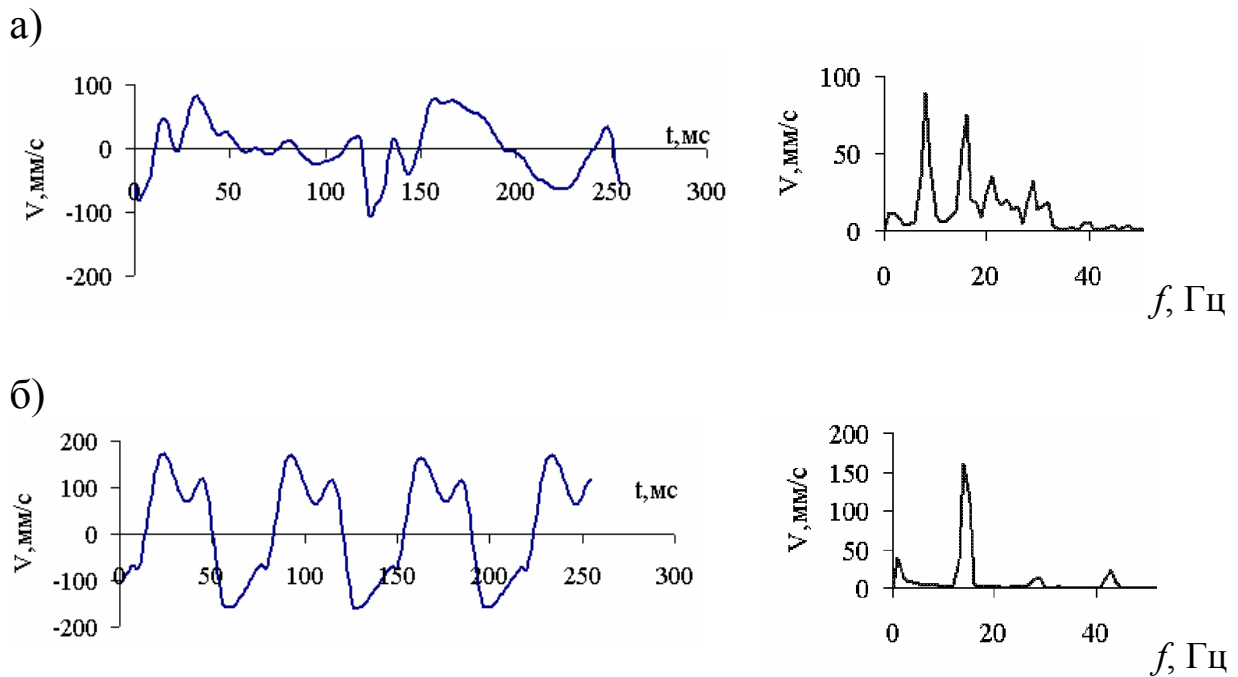


Рисунок 4 – Реализации и спектры распределения по частотам виброскорости конвейерной ленты для рабочей частоты виброочистителя 8,3 Гц (а) и 14,29 Гц (б)

Следовательно, симисторная система без связи частоты импульсов, формируемых МСУ с частотой сети не позволяет обеспечить регулируемый управляемый процесс работы вибрационного очистителя. Для стабильной работы очистителя необходимо использование системы управления с импульсно-фазовой синхронизацией. Принципиальная схема такой системы управления представлена на рис. 5. Синхронизация работы МСУ с изменением напряжения позволит обеспечить постоянную длительность импульсов  $T_i$  при заданной рабочей частоте  $f$ .

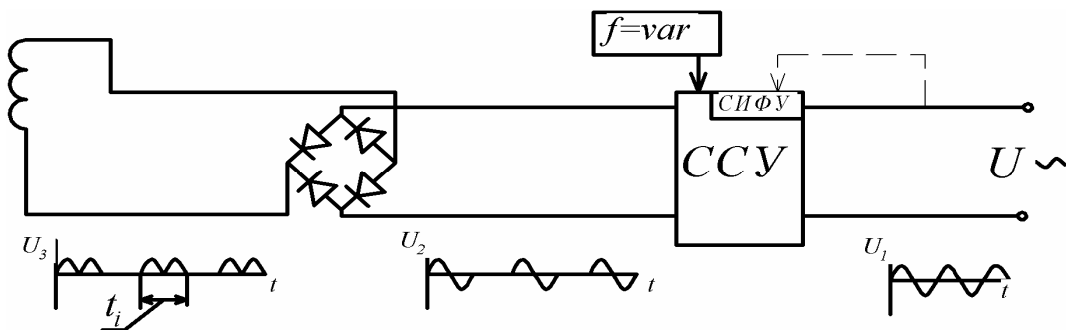


Рисунок 5 – Схема управления приводом вибрационного очистителя конвейерной ленты с импульсно-фазовой синхронизацией с частотой сети

**Выводы и направление дальнейших исследований.** Экспериментально получен спектр распределения виброскорости конвейер-

ной ленты при различных значениях натяжения ленты и жесткости подвески очистителя при переменных значениях частоты электромагнитного вибровозбудителя, формируемых автономной симисторной системой управления. Наблюдалось заметное увеличение виброскоростей на частоте 14,29 Гц, что объясняется близостью частоты к кратной частоте выпрямленного напряжения  $f_0=100$  Гц. Таким образом, симисторная система без связи частоты импульсов, формируемых МСУ с частотой сети не позволяет обеспечить регулируемый управляемый процесс работы вибрационного очистителя. Для стабильной работы очистителя необходимо использование системы управления с импульсно-фазовой синхронизацией.

#### Список литературы

1. Будишевский В.А. Структурный анализ и синтез средств вибрационной очистки конвейерных лент / В.А.Будишевский, Н.В.Хиценко, Е.М. Арефьев // Уголь Украины. – 2007. - №3.
2. Тарасов Ю.Д. Очистка конвейерных лент и подконвейерного пространства / Ю.Д. Тарасов. - М.: Недра, 1993. - 192 с.

**В.О. Будішевський, Є.М. Ареф'єв, А.В. Лавшонов, Г.І. Хиценко, В.О. Яценко.** Експериментальні дослідження робочого процесу вібраційного очисника конвеєрної стрічки з симістерною системою керування. Проведене експериментальне дослідження робочого процесу вібраційного очисника конвеєрної стрічки з автономною симісторною системою керування. Обґрунтовані вимоги щодо констукції та алгоритму функціонування його системи керування. мікропроцесорна система керування, вібраційний очисник, конвеєрна стрічка, експериментальне дослідження

**V. Budishevskiy, E. Arefyev, A. Lavshonok, A. Khitsenko, V. Yatsenko.** Experimental Research of the Working Process of a Vibrational Cleaner of a Conveyor Belt with Triac Control System. The experimental research into the working process of a vibrating cleaner of a conveyor belt with independent triac control system was conducted. Requirements to the design and algorithms of its control system functioning are proved.

**triac control system, vibrational cleaner, conveyor belt, experimental research**

Стаття надійшла до редколегії 28.10.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. ДонНТУ С.В. Подкопаєв

© Будишевский В.А., Арефьев Е.М., Лавшонов А.В., Хиценко А.И., Яценко В.А., 2010