

УДК 622.647.2+622.693

Т.В. АЛЕКСАНДРОВА, ГП "ГПИ "Кривбасспроект"  
 В.А. МЕЛАЩЕНКО, канд.техн. наук, доц.,  
 ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УСТРОЙСТВА РОЛИКОВОГО ТИПА ДЛЯ ЗАХВАТА ЛЕНТЫ НАКЛОННОГО КОНВЕЙЕРА ПРИ ОТКАЗЕ ЕГО ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ

Дано описание конструкции и принципа работы устройства для улавливания ленты наклонного конвейера в случае ее самопроизвольного схода вниз в результате отказа тормозной системы конвейера. Рассмотрена принципиальная схема эксцентрикового ловителя, а также приведена математическая модель для расчета подобного устройства.

Ключевые слова: наклонный конвейер, лента, руда, устройство для улавливания ленты

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** В настоящее время транспортировка руды на ГОКах с нижних горизонтов на борт карьера производится, как правило, при помощи мощных наклонных конвейеров. Наиболее уязвимым элементом конвейера является лента. Именно проблемы с конвейерной лентой вызывают максимальное количество аварий на конвейерах. Если в результате каких-то неполадок не срабатывает тормозная система конвейера, то груженная лента под действием лежащей на ней породы на высокой скорости уходит вниз. Поскольку скорость схода ленты может превышать 60 км, то лежащая на ленте руда сбрасывается на пол галереи, крупные куски руды разлетаются во все стороны, и травмируют значительную часть ленты как рабочей, так и холостой ветви, а также разрушают металлоконструкцию конвейера. Поэтому остро стоит вопрос не только о разработке действующей модели ловителя, но и о наличии математической модели для такого ловителя.

**Анализ исследований и публикаций.** Известно достаточно много моделей ловителей конвейерной ленты. Они обычно имеют простую конструкцию, но имеют не высокую эксплуатационную надежность из-за того, что они срабатывают под действием дополнительного привода или от сигнального устройства.

**Изложение материала и результаты.** Предупреждение самопроизвольного скоростного схода ленты вниз вместе с лежащей на ней рудой и предотвращение аварийной ситуации возможно при условии остановки ленты в самом начале ее движения вниз конвейера. Для этого необходимо знать изменение скорости ленты в первые секунды ее движения и время набора лентой максимальной скорости. Предлагаемое устройство для захвата ленты наклонного конвейера относится к улавливающим устройствам маятникового типа [1]. Исполнительным органом устройства является ролик, контактирующий с холостой ветвью конвейера.

Схема устройства представлена на рис. 1.

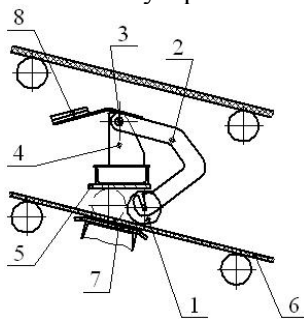


Рис. 1. Схема улавливающего устройства

Исполнительный орган устройства состоит из ролика 1, установленного на нижних концах рычагов 2, связанных через шарниры 3 и опорные стойки 4 с верхней опорной балкой 5. Балка установлена под углом  $\alpha_6$  к холостой ветви 6 конвейерной ленты, под которой находится упорный стол 7. Исполнительный узел уравнивается контргрузом 8, жестко связанного с верхними концами рычагов 2.

Зашемление ленты 6 роликом 1 происходит за счет его закатывания в клиновидную щель, образованную упорной балкой 5 и опорным столом 6.

Подобное описание устройства и принцип его действия приведены в Патенте [2].

*Определение стягивающего усилия, действующего на конвейерную ленту*

Величина стягивающего усилия в основном зависит от веса груженной части ленты, от веса лежащей на ней руды, от угла наклона конвейера и от величины сопротивления движению лент

ты вниз. Оно составляет  $P_{ст}$

$$\bar{P}_{cm} = q_p l_n k_{mp} \sin \alpha . \quad (1)$$

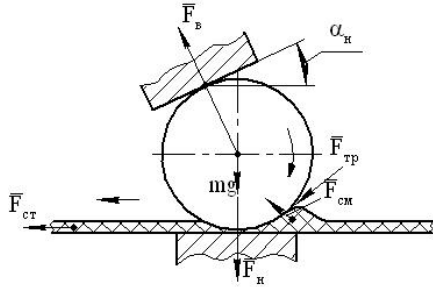
Длина ленты конвейера, расположенной ниже улавливающего устройства равна

$$l_n = l \cdot n$$

где  $q_p$  - вес руды, приходящийся на один метр длины ленты, кг;  $l$  - расстояние между роликоопорами, м;  $n$  - число роликоопор, расположенных ниже улавливающего устройства;  $\alpha$  - угол наклона конвейера, град.;  $k_{mp}$  - коэффициент трения ленты об элементы конструкции конвейера.

*Определение величины заклинивающего усилия устройством.*

Для определения сил, действующих на элементы устройства и ленту конвейера, составим его расчетную схему (рис.2).

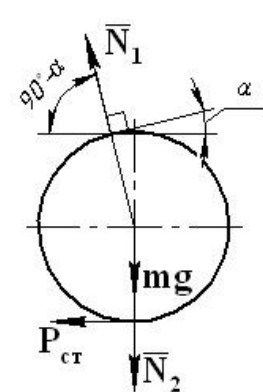


**Рис. 2** Схема к определению сил, действующих на оборванную часть ленты при ее захвате

Рабочий орган состоит из клиновидной щели, составленной упорной балкой 1 и опорным столом 2, ленты конвейера 3, размещенной над опорным столом и ролика 4, лежащего на ленте (рис. 2).

Обозначения на рисунке:

$P_{cm}$  - стягивающее усилие;  $F_1$  - сила трения между роликом и упорной балкой;  $F_2$  - сила трения между лентой и опорным столом;  $F_{mp}$  - сила трения между роликом и лентой;  $F_{cm}$  - сила смятия ленты;  $N_1$  - суммарное давление ролика на упорную балку;  $N_2$  - реакция давления на опорный стол;  $f_1$  - коэффициент трения-скольжения (в предельном случае - покоя) между роликом и упорной балкой и между лентой и опорным столом. Для расчетов принимаем  $f_1 = k_{mp}$ ;  $\alpha_n$  - угол наклона верхней балки.



Рассмотрим систему сил, действующих на ролик в случае их равновесия при окончательном захвате ленты (рис. 3).

**Рис. 3.** Схема сил, действующих на ролик при его равновесии

Суммарная сила, действующая на ролик

$$F_c = F_2 - F'_2 \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^n kx = 0$$

$$F_1 \cos \alpha_n - F'_2 - F_2 - N_1 \sin \alpha_n = 0 \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^n ky = 0$$

$$N_2 - N_1 \cos \alpha_n - F_1 \sin \alpha_n - P_{cm} = 0 \quad (4)$$

Из уравнения (2) при

$$F_1 = k_{mp} N_1$$

находим

$$N_1 (k_{mp} \cos \alpha_n - \sin \alpha_n) = F'_2 \quad (5)$$

При выполнении приближенного равенства

$$F_c \approx F_2 + F'_2 = q_p \cdot l \cdot n \cdot \sin \alpha_n \quad (6)$$

имеем

$$N_1 \cdot (k_{mp} \cos \alpha_n - \sin \alpha_n) = \frac{q_p \cdot l \cdot n \cdot \sin \alpha_n}{2} \quad (7)$$

или

$$N_1 = \frac{q_p \cdot l \cdot n \cdot \sin \alpha_n}{2 \cos \alpha_n g (k_{mp} - \tan \alpha_n)} \quad (8)$$

где  $\alpha$  - угол наклона конвейера.

При  $\operatorname{tg} \alpha_n \rightarrow k_{mp}$ , реакция  $N_1$  становится бесконечно большой. Поэтому равенство  $\operatorname{tg} \alpha_n \approx k_{mp}$  можно использовать для оценки угла  $\alpha_n$  клиновидной щели. При малых углах  $\operatorname{tg} \alpha_n \approx \alpha_n$ , следовательно, угол  $\alpha_n$  при известном коэффициенте  $k_{mp}$  определяется только этой величиной, и поскольку  $k_{mp}$  для стали лежит в пределах 0,1–0,25 то и  $\alpha_n$  лежит в пределах 10–25 градусов.

Из уравнения (3) находим заклинивающее ленту усилие как реакцию давления ролика на опорный стол

$$\begin{aligned} N_2 - N_1 \cos \alpha_n - N_1 k_{mp} \cdot \sin \alpha_n - P_{cm} &= 0 \\ N_2 - N_1 (\cos \alpha_n + k_{mp} \cdot \sin \alpha_n) - P_{cm} &= 0 \\ N_2 &= P_{cm} + N_1 (\cos \alpha_n + k_{mp} \cdot \sin \alpha_n). \end{aligned} \quad (9)$$

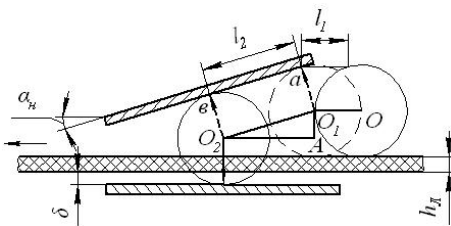
$$N_2 = P_{cm} + \frac{q_p \cdot l \cdot n \cdot \sin \alpha_n}{2 \cos \alpha_n g (k_{mp} - \operatorname{tg} \alpha_n)} (\cos \alpha_n + k_{mp} \sin \alpha_n) \quad (10)$$

Следовательно, если при  $\operatorname{tg} \alpha_n$ ;  $k_{mp}$ , когда реакция  $N_1$  становится большой, то такой же большей становится и сила  $N_2$ , удерживающая ленту и стремящаяся к бесконечности  $N_2 \rightarrow \infty$ .

По величине заклинивающего усилия представляется возможным по известным методикам курса сопротивления материалов определить прочностные параметры, как самого исполнительного органа, так и каркаса устройства

*Определение величины смещения ленты при ее захвате устройством*

В режиме эксплуатационного режима работы конвейера элементы конструкции захватывающего устройства расположены на расстоянии от ленты с зазорами  $\delta_1$  и  $\delta_2$  для предотвращения износа ее обкладок (рис. 4).



**Рис. 4.** Расчетная схема величины пути ленты при захвате ее устройством

Приняв, что при захвате ленты эксцентрик сжимает ее максимум на величину половины ее толщины  $h_n$ , определяем вертикальную составляющую смещения ленты.

Из треугольника  $O_2AO_1$  находим

$$AO_1 = (h_n / 2) + \delta_1 \quad (11)$$

$$\frac{AO_1}{O_2A} = \frac{h}{l_{\max}}; \quad h = \frac{h_n}{2} + \delta_1; \quad \frac{h}{l_{\max}} = \operatorname{tg} \alpha_n; \quad l_{\max} = \left( \frac{h_n}{2} + \delta_1 \right) \operatorname{tg} \alpha_n; \quad (12)$$

*Скорость движения ленты во время ее захвата устройством*

Скорость движения ленты зависит от ее загруженности, но поскольку при уходе ленты, она набирает большую скорость, то начинается разлет руды с конвейерной ленты, поэтому скорость движения ленты после отказа тормозной системы может быть определена по формуле

$$v = \frac{t - k_c t^2}{1 - k_c t^2} k_{mp} g \sin(\alpha) \quad (13)$$

где  $k_c$ - коэффициент «сбрасывания» руды» имеет размерность  $1/c=c^{-1}$  изменяется от 0 до 1;  $t$  - время от начала движения ленты, до срабатывания ловителя

Все вместе эти аналитические выражения составляют математическую модель эксцентрикового улавливающего устройства ленты наклонного конвейера при отказе его тормозной системы, по которым возможно определить все необходимые конструктивные параметры улавливающего устройства.

$$\begin{cases} P_{cm} = f \cdot q_p \cdot l_n \cdot k_{mp} \cdot \sin \alpha_n \\ N_2 = P_{cm} + \frac{q_p \cdot l \cdot n \cdot \sin \alpha_n}{2 \cos \alpha_n g (k_{mp} - \operatorname{tg} \alpha_n)} (\cos \alpha_n + k_{mp} \sin \alpha_n) \\ l_{\max} = h \cdot \operatorname{tg} \alpha_n = \left( \frac{h_n}{2} + \delta_1 \right) \cdot \operatorname{tg} \alpha_n \\ v = \frac{t - k_c \cdot t^2}{1 - k_c \cdot t^2} \cdot k_{mp} \cdot g \cdot \sin \alpha_n \end{cases} \quad (14)$$

**Выводы.** Для удержания ленты наклонного конвейера при ее самопроизвольном сходе вниз необходимо при помощи исполнительной части улавливающего устройства приложить к ленте заземляющее усилие, превышающее в несколько раз стягивающее усилие.

При увеличении стягивающего усилия, действующего на ленту, увеличиваются и силы, заклинивания ленты, что обеспечивает надежное ее удержание при поперечном порыве

Величина хода рабочего элемента устройства не превышает 200 мм.

Улавливающие устройства способны надежно удерживать ленту наклонного конвейера при в самом начале ее самопроизвольного схода вниз.

#### *Список литературы*

1. Л.Г. Шахмейстер, П.А. Ляшкевич, В.Г. Фохтин Ловители для наклонных ленточных конвейеров. М. ЦНИЭИуголь, 1972.

2. Т.В.А. лександрова, Пристрій для уловлювання стрічки похилого конвеєра при відмові його гальмової системи. Патент на корисну модель UA 34497 B65G 43/00 Бюл.№15 2008 р.

3. Л.Г. Лойцянский, А.И. Лурье. Курс теоретической механики. Том 2. Динамика. М. «Наука». 1983 г. Стр. 172 с.

Рукопись поступила в редакцию 22.03.13

УДК 004.9: 622.1: 622.271

А.С. ЗЕЛЕНСКИЙ, д-р техн. наук, проф., В.С. ЛЫСЕНКО, канд. эконом. наук, доц. КЕИ ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

### **ПОСТРОЕНИЕ КРИВЫХ И ПОВЕРХНОСТЕЙ ПРИ РЕШЕНИИ ГОРНО-ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ЗАДАЧ**

Приводятся результаты реализации в компьютерной графике построения кривых и поверхностей с использованием полиномиальных методов, методов интерполяции кубическими сплайнами, а также методов с использованием В-сплайн кривых и Nurbs-поверхностей при решении горно-геометрических задач.

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Для решения горно-геометрических задач, входящих в состав интегрированных горных пакетов, возникает необходимость построения кривых и поверхностей. Это построение применяется для пространственной изменчивости качественных показателей, оконтуривания рудных тел в 2D и 3D-графике, моделирования дневной поверхности карьера, а также оценке ее сдвижения, подсчета запасов и учета добычи руд.

**Анализ исследований и публикаций.** В настоящее время широко используются следующие методы построения кривых и поверхностей для решения горно-геометрических задач:

1. Метод построения с использованием полинома.
2. Методы построения с помощью интерполяционных кубических сплайнов.
3. Методы построения с помощью В-сплайнов.

Следует отметить, что для проведения исследований важно иметь собственные отечественные разработки. Применение инструментальных средств программирования и компьютерной графики позволяет имитировать различные исходные данные и применять к ним различные методы построения кривых и поверхностей. Такой подход намного эффективней, чем применение стандартных пакетов таких как MS Excel, Matlab. Так, MS Excel при построении полиномиальных кривых ограничивается 6-й степенью, в пакете Matlab, несмотря на то что он является мощной математической лабораторией – отсутствуют методы построения полиномиальных поверхностей, а также реализованы только отдельные виды интерполяционных сплайнов.

В этой связи авторами предлагается разработанный пакет построения кривых и поверхностей на языке программирования Visual C++ под Windows с использованием открытой графической библиотеки OpenGL для работы с компьютерной графикой. Отдельные модули данного пакета интегрированы в информационной системе геолого-маркшейдерского обеспечения.

**Постановка задачи.** Основной целью статьи является сравнительная характеристика методов построения кривых и поверхностей с использованием полиномов, интерполяционных сплайнов, В-сплайнов, реализация их в компьютерной графике, а также выбор наиболее эффективного метода для решения горно-геометрических задач. При этом должны достигаться максимальная точность и минимальные затраты труда на подготовку исходных данных.