



## ЛИТЕРАТУРА

1. Патент № 27981 Україна, E21C50/00 E02F 3/88. Грунтозабірний пристрій / А.О. Бондаренко Є.С. Запара, В.П. Франчук (Україна) ; заявник і патентовласник Національний гірничий університет – № и 2007 06214; заявл. 26.11.2007; опубл. 05.06.2007, Бюл. №19.
2. Патент № 91523 Україна, E21C50/00 E02F 3/88. Грунтозабірний пристрій / А.О. Бондаренко Є.С. Запара, В.П. Франчук (Україна) ; заявник і патентовласник Національний гірничий університет – № и 2007 05798; заявл. 24.05.2007 ; опубл. 10.08.2010, Бюл. №15.
3. Обоснование параметров грунтозаборного устройства землесосного снаряда с грунтовым насосом Гру 800-40 : отчет о НИР / Национальный горный университет (НГУ); рук. А.А. Бондаренко. – ГР 0108U004593. – Д., 2007.
4. Рабочий проект разработки Восточно-Бугского месторождения песков (участок 1): рабочий проект / Национальный горный университет (НГУ); рук. А.А. Бондаренко. – № ДР 0106U012638. – Д., 2006.

УДК 622.647.2

**ДИНАМИКА ПОВЕДЕНИЯ ТЯГОВОГО ОРГАНА ПРИ ВЗВЕШИВАНИИ  
ГРУЗОПОТОКА НА ЛЕНТОЧНОМ КОНВЕЙЕРЕ  
ПО ОКРУЖНОМУ УСИЛИЮ ПРИВОДА**

**М.А. Дудко**, кандидат технических наук, доцент кафедры основ конструирования механизмов и машин

Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет»,  
Днепропетровск, Украина

**И.В. Вернер**, заведующий лаборатории информационных технологий проектирования  
кафедры основ конструирования механизмов и машин

Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет»,  
Днепропетровск, Украина, e-mail: [ill3@mail.ru](mailto:ill3@mail.ru)

**Г.И. Саричева**, студент группы АТММ-10-1

Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет»,  
Днепропетровск, Украина

**Аннотация.** В работе рассмотрено влияние упругих свойств конвейерной ленты на процесс интегрирования по времени входной величины, являющейся функцией средней погонной нагрузки на конвейере и измеряемой по окружному усилию на приводном барабане. Установлено, что передаточное звено, которым является конвейерная лента, не вносит погрешности на подсчет количества материала, прошедшего через конвейер.

*Ключевые слова: ленточный конвейер, конвейерная лента, погонная нагрузка на конвейере, окружное усилие привода, производительность грузопотока, взвешивание материала на конвейере, деформация ленты.*

## THE DYNAMICS OF THE PULLING UNIT FOR WEIGHING CARGO FLOW ON A CONVEYOR BELT BY A CIRCUMFERENTIAL FORCE ACTUATOR

**M.A. Dudko**, Ph.D., Associate Professor of Machinery Design Bases Department  
State Higher Educational Institution "National Mining University", Dnepropetrovsk, Ukraine

**I. Verner**, Head of informational technology design laboratory, Machinery Design Bases Department  
State Higher Educational Institution "National Mining University", Dnepropetrovsk, Ukraine,  
e-mail: [ill3@mail.ru](mailto:ill3@mail.ru)

**G.I. Sarycheva**, Student of group ATMM-10-1  
State Higher Educational Institution "National Mining University", Dnepropetrovsk, Ukraine

**Abstract.** In this paper considered the influence of the elastic properties of the conveyor belt on the process of integration over time of the input variable, a function of the average load per unit length on the line and measured by circumferential stress on the drive drum.

*Keywords: conveyor system, conveyor belt, linear load on the conveyor drive peripheral force.*

**Введение.** Одним из основных видов транспорта в горнодобывающей промышленности является конвейерный транспорт. Пути повышения эффективности работы конвейерного транспорта связаны с автоматизацией ряда транспортных операций, причем ведущая роль в этом принадлежит средствам контроля производительности транспортируемых грузопотоков. Помимо измерения производительности и учета количества транспортируемого материала с помощью этих средств осуществляется предохранение устройств технологической цепи от перегрузок а также автоматическое дозирование материала.

Существующие средства учета производительности ленточных конвейеров удовлетворительно работают при сравнительно небольших скоростях движения ленты конвейера (не выше 2,5...3 м/с) и равномерных грузопотоках. При значительных скоростях ленты конвейера (6...8 м/с) и при транспортировании неравномерных крупнокусковых грузопотоков применение средств измерения производительности ленточных конвейеров, основанных на принципе взвешивания короткого грузового участка

ленты затруднительно из-за высокой динамичности взвешивающей системы и снижения собственных поперечных колебаний ленты.

**Целью работы** является оценка точности взвешивания массы материала, транспортируемого конвейером, по окружному усилию привода в зависимости от динамических свойств тягового органа конвейера (ленты конвейера).

**Материал и результаты исследований.** Основной метод решения поставленной задачи – определение погрешностей интегрирования функции количества материала, транспортируемого конвейером путем исследования математических моделей последовательно расположенных передаточных звеньев.

Окружное усилие привода ленточных конвейеров вычисляется по формуле

$$F_{\text{нс}} = S_{\text{нб}} - S_{\text{сб}} \quad (1)$$

где  $S_{\text{нб}}$  – натяжение на набегающей на приводной барабан ветви конвейера;  $S_{\text{сб}}$  – натяжение на сбегающей с приводного барабана ветви конвейера.

Масса материала на конвейере в данном случае определяется по формуле

$$G = kF_{\text{нс}}, \text{ где } k \text{ – коэффициент пропорциональности.}$$

Количество материала, прошедшего через конвейер за определенный промежуток времени  $t_1$  и  $t_2$  определяется выражением

$$M = \int_{t_1}^{t_2} qv dt,$$

где  $q$  – средняя погонная нагрузка материала на конвейере,  $q = \frac{M_0}{l}$ , где  $M_0$  – масса материала на всей ленте конвейера;  $l$  – длина конвейера;  $v$  – скорость движения ленты конвейера.

Для ленточных конвейеров тяговым органом являются резинотканевые и резинотросовые ленты. В соответствии с работами [1,2] конвейерные ленты рассматриваются, как линейно-механические системы с бесконечно большим числом степеней свободы и при решении динамических задач ленту можно представить как упруго-вязкий стержень, математическая модель которого подчиняется гипотезе Фойгта-Кельвина, описываемая следующим уравнением

$$\sigma = E(\varepsilon + \mu \dot{\varepsilon}), \quad (2)$$

где  $\sigma$  – напряжение, возникающее в ленте;  $E$  – динамический модуль упругости ленты;  $\varepsilon$  – относительная деформация ленты;  $\mu$  – коэффициент затухания, учитывающий внутреннее трение в ленте;  $\dot{\varepsilon}$  – скорость изменения относительной деформации.

Уравнение, описывающее процесс деформации ленты, как упруго-вязкого тела с бесконечно большим числом степеней свободы имеет вид [1,2]

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - a^2 \left( 1 + \mu_l \frac{\partial}{\partial t} \right) \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = G''(x, t) \quad (3)$$

где  $u$  – продольные упругие смещения рассматриваемого поперечного сечения ленты;  $x$  – координата, определяющая положение поперечного сечения ленты;  $a = \sqrt{\frac{E_0}{q}}$  – скорость распространения волн упругих деформаций, где  $E_0$  – динамическая жесткость ленты;  $q = q_l + q_z + q_p$  – суммарная погонная нагрузка на ленте, где  $q_l$  – погонная масса ленты;  $q_z$  – погонная масса груза на ленте;  $q_p$  – погонная масса вращающихся частей роликоопор;  $\mu_l$  – коэффициент затухания, учитывающий внутреннее трение в ленте;  $G''(x, t)$  – плотность распределения статических внешних продольных сил.

Рассмотрим процесс передачи информации конвейерной лентой о количестве поступающего, а затем и транспортируемого материала. Представим, что ленточный конвейер перемещает грузопоток с постоянной погонной нагрузкой. В этот период на счетное устройство измерения грузопотока передается неизменный сигнал, пропорциональный величине материала, находящегося на ленте. Теперь в какой-то момент времени материал поступает на ленту неравномерно. Очевидно и продольная деформация ленты также начинает изменяться. Так как скорость распространения волны деформации является величиной конечной, а сама лента обладает упругими и диссипативными средствами, то в данный момент поступления материала на конвейер имеет место несоответствия величины погонной нагрузки и передаваемой на счетное устройство измерительного устройства информации. По мере дальнейшего движения какого-то условно выбранного объема материала по конвейеру, несмотря на то, что распределение материала в этом объеме по длине неравномерное, продольное возмущение на ленту практически не изменяется и является установившемся. Из этого следует, что основное динамическое возмущение возникает в месте загрузки конвейера. Очевидно также, что динамическое возмущение имеет место и при сходе материала с конвейера, однако в этом случае упругие свойства ленты мало искажают достоверность информации о количестве материала вследствие того, что ленту в точке набегания на приводной барабан из-за большой приведенной к ободу барабана массы привода можно считать жестко закрепленной.

Следует отметить, что динамическую погрешность имеет смысл исследовать только для коротких конвейеров, у которых время присутствия

материала на конвейере незначительно и может быть соизмеримо с длительностью переходных процессов в ленте.

Согласно [3] наиболее типичное динамическое возмущение, вызываемое изменением линейной массы транспортируемого грузопотока на участке взвешивающей платформы скачкообразное, изменяющееся по линейному закону, а также определяемое гармоническим характером синусоидальной волны. В соответствии с этим принимаем допущение, что функция изменения погонной нагрузки поступающего на конвейер грузопотока является случайной функцией, а отдельные составляющие грузопотока изменяются по линейному, степенному, скачкообразному, а также гармоническому закону синусоидальной волны.

Вторым допущением является представление падающего на конвейер груза, как сосредоточенного продольного динамического возмущения, действующего на ленту в месте загрузки конвейера. Такое допущение правомочно, учитывая, что время действия сил трения и инерции на падающий груз значительно меньше времени движения этого груза по конвейеру.

Определяя динамическую погрешность интегрирования функции, характеризующей изменение производительности, будем рассматривать какой-то условно выбранный объем грузопотока с характерным законом изменения погонной нагрузки  $q(t)$  в месте загрузки конвейера.

Для ленточных конвейеров тяговым органом являются резинотканевые и резинотросовые ленты. Вначале определим влияние конвейерной ленты, как передаточного звена, на точность измерения производительности по окружному усилию и интегрирования функции, характеризующей изменение производительности. При рассмотрении этого вопроса сделаем допущение, что процесс передачи информации элементами привода и первичным измерительным элементом безынерционен, а учитываются только упругие и диссипативные свойства ленты.

При выборе расчетной схемы учитываем, что для большинства ленточных конвейеров, эксплуатирующихся в настоящее время, приведенную к ободу барабана массу привода можно считать бесконечно большой по сравнению с массой остальных элементов конвейера. Учитывая эти обстоятельства расчетную схему можно представить, как упруго-вязкий стержень, который закреплен консольно (рис. 1,б) в месте расположения приводного барабана (рис. 1,а).

Дифференциальные уравнения движения поперечных сечений ленты в соответствии с расчетной схемой рис. 1 (б) имеют вид [2]

$$\frac{\partial^2 u_1}{\partial t^2} - a_1^2 \left( 1 + \mu_l \frac{\partial}{\partial t} \right) \frac{\partial^2 u_1}{\partial x^2} = G'_1(x, t); \quad (4)$$

$$\frac{\partial^2 u_2}{\partial t^2} - a_2^2 \left(1 + \mu_l \frac{\partial}{\partial t}\right) \frac{\partial^2 u_2}{\partial x^2} = G'_2(x, t), \quad (5)$$

где  $u_1, u_2$  – перемещения поперечного сечения ленты соответственно на грузной и холостой ветвях;  $a_1, a_2$  – скорости распространения волн упругих деформаций соответственно на грузной и холостой ветвях;  $G'_1(x, t), G'_2(x, t)$  – плотности распределения статических продольных внешних сил соответственно на грузной и холостой ветвях, а так как предполагается исследовать динамические процессы, то эти плотности условно считаем равными нулю и все дальнейшие рассуждения проводятся для случая нестационарного изменения погонной нагрузки.

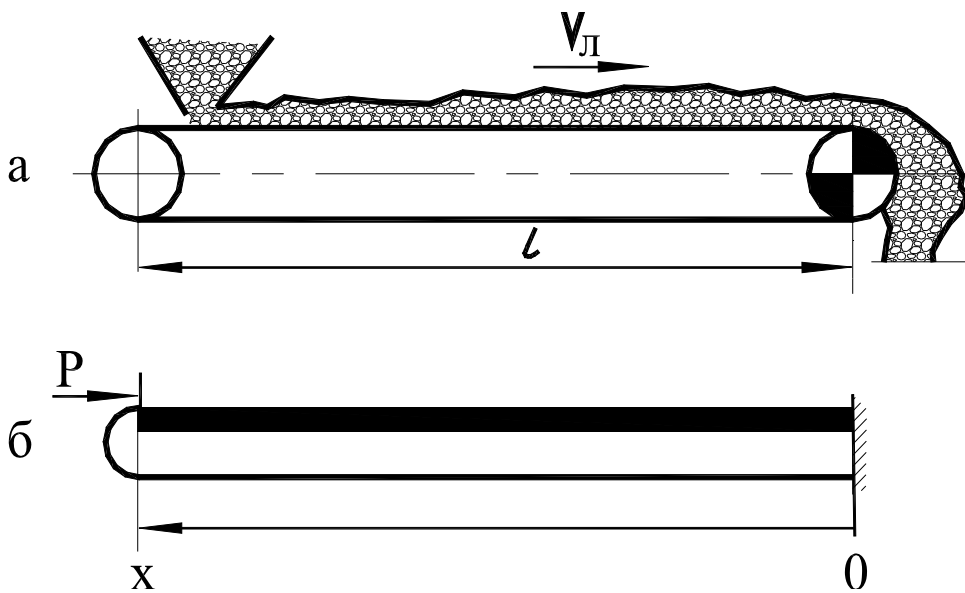


Рис. 1. Расчетная схема ленточных конвейеров для исследования динамических процессов в ленте

Граничные и начальные условия:

$$u_1(0, t) = u_2(0, t) = 0;$$

$$E_0 \frac{\partial u_1}{\partial t}(l, t) - E_0 \frac{\partial u_2}{\partial t}(l, t) = \delta q_{cp}(t) + \Delta q'(t);$$

$$u_1(l, t) = u_2(l, t);$$

$$u_1(x, 0) = u_2(x, 0);$$

$$\frac{\partial u_1(x, 0)}{\partial t} = \frac{\partial u_2(x, 0)}{\partial t},$$

где  $\delta$  – постоянный коэффициент пропорциональности;

$q_{cp}(t) = \frac{1}{l} \int_0^l v(t) q(t) dt$  – функция изменения средней погонной нагрузки условно выбранного объема груза в месте загрузки конвейера;  $l$  – длина конвейера;  $v(t)$  – функция изменения скорости движения лен-

ты во времени;  $q(t)$  – функция изменения погонной нагрузки в месте загрузки конвейера;  $+\Delta q'(t)$  – добавочное возмущение, вызываемое силами инерции и силами трения груза о ленту и борта загрузочного устройства и обусловленное различием скорости движения ленты и продольной составляющей скорости поступающего на конвейер груза. Согласно [4] это возмущение пропорционально производительности конвейера, т.е.  $+\Delta q'(t) = +\Delta q'_0 + kQ(t)$ , где  $\Delta q'_0$  – возмущение, не зависящее от производительности;  $k$  – постоянный коэффициент пропорциональности;  $Q(t)$  – функция изменения производительности конвейера во времени. Учитывая, что на приводе ленточных конвейеров, как правило, установлены асинхронные электродвигатели, то можно считать скорость движения ленты практически постоянной, тогда  $\Delta q'(t) = \Delta q_0 + \delta_2 q(t)$ , где  $\delta_2$  – постоянный коэффициент пропорциональности.

Решение однородных уравнений (4) и (5) находится методом разделения переменных (методом Фурье)

$$u(x, t) = X(x)T(t), (6)$$

где  $X(x)$  – функция, зависящая только от  $x$ ;  $T(t)$  – функция, зависящая только от  $t$ .

Подставляя значение (6) в (4) (5) и делая необходимые преобразования с учетом начальных и граничных условий, получаем решение дифференциальных уравнений (4) и (5) в общем виде

$$u_1(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} A_{n1} e^{-b_{n1}t} \text{Sin} \lambda_{n1} x \text{Sin}(a_1 \lambda_{n1} t + \gamma_{n1}) + x[\delta_{21} q'_{cp}(t) + \delta_{31} \Delta q_0 + \delta_{41} q(t)] \quad (7)$$

$$u_2(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} A_{n2} e^{-b_{n2}t} \text{Sin} \lambda_{n2} x \text{Sin}(a_2 \lambda_{n2} t + \gamma_{n2}) + x[\delta_{22} q'_{cp}(t) + \delta_{32} \Delta q_0 + \delta_{42} q(t)], \quad (8)$$

где  $n$  – порядок гармонической составляющей колебаний;  $A_n, \gamma_n$  – постоянные коэффициенты, соответствующие определенной гармонической составляющей и зависящие от начальных условий;  $\lambda_n$  – постоянная величина, называемая собственным и определяющая периодичность амплитуд колебаний по длине, а также их частоту во времени;  $b_n = \frac{1}{2} \lambda_n^2 a^2 \mu_l$  – коэффициент, определяющий затухание колебаний в ленте;  $\delta_{21}, \delta_{31}, \delta_{41}, \delta_{22}, \delta_{42}$  – постоянные коэффициенты пропорциональности, зависящие от конструктивных параметров конвейеров.

В рассматриваемых измерительных устройствах средняя погонная нагрузка транспортируемого материала измеряется по окружному усилию в соответствии с выражением (1)

$$q_{cp} = kF_{nc} = k(S_{нб} - S_{сб}), \quad (9)$$

$$\text{где } S_{нб} = E_o \frac{\partial u_1}{\partial x}; S_{сб} = E_o \frac{\partial u_2}{\partial x}.$$

Подставляя значения  $S_{нб}$  и  $S_{сб}$  в выражение (9) и с учетом значений (7) и (8), получаем

$$q_{cp} = kE_o [\sum_{n=1}^{\infty} A_{n1} \lambda_{n1} e^{-b_{n1}t} \sin(a_1 \lambda_{n1}t + \gamma_{n1}) - \sum_{n=1}^{\infty} A_{n2} \lambda_{n2} e^{-b_{n2}t} \sin(a_2 \lambda_{n2}t + \gamma_{n2}) + (\delta_{21} - \delta_{22})q'_{cp}(t) + (\delta_{31} - \delta_{32})\Delta q_0 + (\delta_{41} - \delta_{42})q(t)] \quad (10)$$

Суммарная масса груза, прошедшего через конвейер, подсчитывается интегратором в соответствии с формулой

$$G = \int_0^t v(t)q_{cp}(t)dt, \quad (11)$$

где  $t$  – время движения условно выбранного объема материала по конвейеру;  $v(t)$  – скорость движения ленты конвейера.

Учитывая, что в рассматриваемом случае средняя погонная нагрузка измеряется по окружному усилию, выражение (11) принимает вид:

$$G = \int_0^t v(t) kE_o [\sum_{n=1}^{\infty} A_{n1} \lambda_{n1} e^{-b_{n1}t} \sin(a_1 \lambda_{n1}t + \gamma_{n1}) - \sum_{n=1}^{\infty} A_{n2} \lambda_{n2} e^{-b_{n2}t} \sin(a_2 \lambda_{n2}t + \gamma_{n2}) + (\delta_{21} - \delta_{22})q'_{cp}(t) + (\delta_{31} - \delta_{32})\Delta q_0 + (\delta_{41} - \delta_{42})q(t)] dt \quad (12)$$

В выражении (12) интеграл от первых двух слагаемых равен нулю, как интеграл от периодически убывающих функций. Интеграл от третьего слагаемого представляет собой массу условно выбранного объема материала, прошедшего через конвейер. Четвертое слагаемое можно не учитывать, так как эта составляющая не зависит от количества материала на конвейере и может быть скомпенсирована при холостом ходе конвейера. Интеграл от пятого слагаемого есть также масса условно выбранного объема материала, прошедшего за время загрузки на конвейер. Так как время загрузки рассматриваемой порции материала значительно меньше времени прохождения материала по конвейеру, то пятое слагаемое в выражении (12) значительно меньше третьего слагаемого и им можно пренебречь.

**Вывод.** При измерении массы материала на конвейере по окружному усилию привода передаточное звено, которым является конвейерная лента, не вносит погрешности на процесс интегрирования входной величины (подсчета суммарного количества материала прошедшего через конвейер).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Завгородний Е.Х. Исследование динамического модуля упругости конвейерных лент. – В кн.: Вопросы рудничного транспорта. М., 1962, вып. 6. – С. 36-43.



2. Завгородний Е.Х. К вопросу о динамических нагрузках конвейерных лент при неустановившемся движении конвейеров. - В кн. : Вопросы рудничного транспорта. М., 1962, вып. 6. – С. 24-36.

3. Карпин Е.Б. Средства автоматизации для измерения и дозирования массы. – М.: Машиностроение, 1971. – 469 с.

4. Шахмейстер Л.Г., Дмитриев В.Г. Расчет ленточных конвейеров для шахт и карьеров. – М.: МГИ, 1972. – 296 с.

УДК 539.4.012

## **О ВОЗМОЖНОСТЯХ КОНТРОЛЯ РАСХОДА ДВУХФАЗНЫХ СМЕСЕЙ**

**В.Д. Кирнос**, кандидат технических наук, доцент кафедры строительной, теоретической и прикладной механики

Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», Днепропетровск, Украина, e-mail: [lololo@ua.fm](mailto:lololo@ua.fm)

**Аннотация.** В работе проведен анализ существующих способов измерения расхода жидких и двухфазных смесей при обогащении полезных ископаемых. Дана оценка эффективности их использования. Предложен метод измерения расхода двухфазных смесей, исключающий главные недостатки существующих.

*Ключевые слова:* двухфазная смесь, насос; гидротранспортная система, трубопровод, анемометр.

## **ON THE POSSIBILITIES OF CONTROLLING THE FLOW OF TWO-PHASE MIXTURES**

**V. Kirnos**, Ph.D., Associate Professor, Department of Structural, Theoretical and Applied Mechanics

State Higher Educational Institution "National Mining University", Dnepropetrovsk, Ukraine, e-mail: [lololo@ua.fm](mailto:lololo@ua.fm)

**Abstract.** The analysis of existing methods for measuring the flow of liquid and two-phase mixtures in mineral processing. Evaluate the effectiveness of their use. Proposed a method for measuring the flow of two-phase mixtures, excluding the major drawbacks of existing.

*Keywords:* two-phase mixture, pump, hydro-system, plumbing, anemometer.

**Введение.** На горнорудных предприятиях при обогащении руд, например железных, для перекачки пульпы (двухфазных смесей) в технологических линиях нашли широкое применение грунтовые насосы. При этом в процессе эксплуатации гидротранспортные системы должны иметь