

УДК 622.012.2

А.В. Гаврюков, канд. техн. наук., доц.**А.К. Кралин**, канд. техн. наук.**В.А. Талалай**, канд. техн. наук.

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

СКОРОСТЬ УПРУГИХ ДЕФОРМАЦИЙ В ЛЕНТЕ КОНВЕЙЕРА С ИЗМЕНЯЮЩЕЙСЯ ДЛИНОЙ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ

В работе представлена математическая модель, описывающая процесс распространения упругих деформаций в ленте при изменении длины транспортирования конвейера. Представленная модель учитывает: реологическую модель ленты, ускорение изменения длины транспортирования, параметры работающего и неработающего конвейера исходя из наиболее простых допущений по средним значениям определяющих параметров. Установлено, что процесс изменения длины транспортирования в неработающем конвейере состоит из двух фаз трогания и разгона ленты, в работающем только разгона. Скорость распространения упругой деформации ленты работающего конвейера изменяющего длину транспортирования в несколько раз больше скорости распространения упругой деформации ленты не работающего конвейера

волна упругой деформации, статическое напряжение, натяжение ленты, относительное удлинение ленты, скорость изменения натяжения ленты, погонная масса

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Во время перемещения передвижной станции возникает скачек (приращение) натяжения в ленте, распространяющейся по верхней и нижней ветви конвейера волной упругой деформации растяжения и после срабатывания натяжного устройства волной сжатия [1]. Длину ленточного конвейера можно изменять как во время его работы, так и при не работающем конвейере. Данные экспериментов на действующих конвейерах, проведенных под руководством проф. Н. Я. Биличенко [2] и исследования проф. Б.А. Кузнецова [3], говорят о том, что скорость распространения динамической волны упругой деформации ленты при трогании ее с места ниже, чем для движущейся ленты. Для правильной оценки изменения динамических процессов в ленте во время изменении длины транспортирования необходимо знать зависимости оценивающие скорость распространения упругих деформаций в работающем и не работающем конвейере.

Анализ исследований и публикаций.

Обзор исследований в данном направлении [1-9] показал, что скорость распространения волны деформаций рассчитывается по статическому модулю упругости, что для синтетических лент дает совершенно неудовлетворительный результат, следовательно, необходимо учитывать реологические характеристики лент. Следует отметить, что исследований, количественно оценивающих скорость распространения волн деформаций при изменении длины транспортирования конвейера с синтетическими лентами автором не выявлено.

Постановка задачи.

Разработать математическую модель, описывающую скорость распространения упругих деформаций в тягово-несущем органе во время изменения длины транспортирования, исходя из наиболее простых допущений по средним значениям определяющих параметров, учитывающую реологическую модели ленты, ускорение изменения длины транспортирования, параметры работающего и неработающего конвейера.

Изложение материала и результаты.

Примем допущение, что увеличение статического натяжения в ленте при изменении длины конвейера прямо пропорционально длине рассматриваемого участка ленты и удельному сопротивлению ее движения.

Применительно к реологической модели ленты приведенной в работе [10] получим зависимости скоростей динамической волны упругих деформаций и возникающие приращения натяжения в ленте конвейера, изменяющем длину транспортирования.

Так как ленточный конвейер оборудован системой автоматического контроля натяжения ленты, то телескопическое устройство можно представить как грузовое натяжное устройство.

Рассмотрим вариант изменения длины транспортирования конвейера, при котором перемещение концевой станции происходит при остановленном конвейере.

Во время перемещения концевой станции возникает скачек (приращение) натяжения в ленте, распространяющейся по верхней и нижней ветви конвейера волной упругой деформации растяжения при удлинении или сжатия при сокращении.

Определим скорость распространения динамической волны упругой деформации растяжения от точки 4 к точке 3 во время удлинения неработающего конвейера в период фазы троганья (рис.1).

где $S_{ст.р.}$ – увеличение статического натяжения в ленте при передвижении станции (растяжении ленты); $S_{дин.р.}$ – увеличение динамического натяжения в ленте при передвижении станции (растяжении ленты); z – градиент статического натяжения ленты при установившемся движении концевой станции (удельное сопротивление движению); S_4 – натяжение ленты в точке 4 при установившемся режиме движения концевой станции.

Динамическое усилие для разгона отрезка ленты длиной x согласно теореме импульсов:

$$S_{дин.р.} = d(m \times V) / dt \quad (7)$$

где $d(m \times V)$ – приращение количества движения отрезка ленты x за время dt .

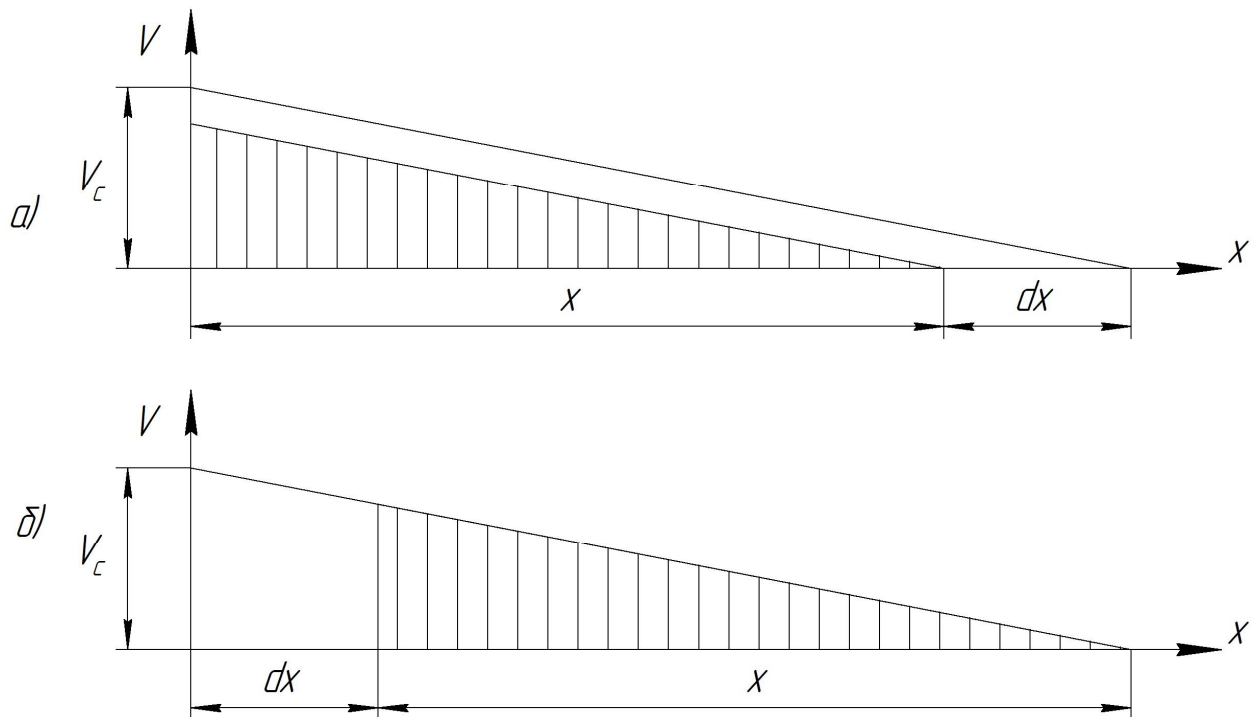


Рис. 2. Изменение скорости ленты на фронте волны растяжения порожней ветви

За время dt фронт волны переместится на dx (см. рис. 2). Допустим, что скорость ленты не изменяется во времени.

Сдвинем начало координат графика скорости ленты влево на величину dx перемещения фронта волны деформации за время dt . На

отрезке x количество движения за время dt изменилось лишь за счет участка dx .

$$d(m \times V) = V_4 \times dm = V_4 \rho_l dx = V_4 \rho_l a_{\text{дин.н}} dt \quad (8)$$

где ρ_l - погонная масса движущейся ленты; V_4 - мгновенная скорость движения ленты в точке 4 при изменении длины транспортирования не работающего конвейера.

Поставляя значения (8) в (7), получим

$$S_{\text{дин.р.}} = V_4 \rho_l a_{\text{дин.н}} \quad (9)$$

Подставив значения величин в (4), получим

$$S_4 = S_{4H} + x(z - c) + V_4 \rho_l a_{\text{дин.н}} \quad (10)$$

Определим удлинение ленты u на отрезке x после начала движения концевой станции.

$$u = j \cdot t^2 \quad (11)$$

где $j = \frac{V_4}{t}$ - ускорение перемещения концевой станции.

Относительное удлинение ленты в точке 4

$$\varepsilon_4 = \frac{u}{x} \quad (12)$$

Подставив (11) в (12) имеем:

$$\varepsilon_4 = \frac{jt^2}{x} = \frac{jt}{a_{\text{дин.н}}} \quad (13)$$

Скорость относительного удлинения ленты в точке 4

$$\varepsilon_4 = \frac{j}{a_{\text{дин.н}}} \quad (14)$$

После преобразования уравнения (10) получим:

$$S_4 = S_{4H} + a_{\text{дин.н}} t(z - c) + j \rho_l a_{\text{дин.н}} t \quad (15)$$

Скорость изменения натяжения ленты в точке 4

$$\sigma_4 = \frac{1}{Bi} \cdot \frac{dS_{4H}}{dt} = \frac{a_n(z - c) + j \rho_l a_{\text{дин.н}}}{Bi} \quad (16)$$

где B - ширина ленты; i - число прослоек в ленте

$$S_4 = S_{4H} + \Delta S \quad (17)$$

где $\Delta S = \sigma Bi$ - приращение натяжения в точке 4 возникающее при перемещении концевой станции.

Если считать, что с реологической точки зрения лента является телом Томсона - Пойтинга [10] то возникающее напряжение в ленте

$$\sigma_4 = E_1 \varepsilon_4 + \eta \frac{E_1 + E_2}{E_2} \cdot \frac{d\varepsilon_4}{dt} - \frac{\eta}{E_2} \cdot \frac{d\sigma_4}{dt} = E_1 (\varepsilon_4 + k\varepsilon_4 - p\sigma_4) \quad (18)$$

где $k = \eta \frac{E_1 + E_2}{E_1 E_2}$; $p = \frac{\eta}{E_2 E_1}$; E_1 - статический модуль упругости материала нитей ленты; E_2 - модуль упругости обусловленный структурой ленты; η - вязкость ленты [10].

Отсюда

$$\Delta S = E_1 B i (\varepsilon_4 + k\varepsilon_4 - p\sigma_4) \quad (19)$$

Подставив в (17) S_4 (5) и ΔS (19), где ε_4 , ε_4 и σ_4 выразив по (13), (14), (16)

$$\begin{aligned} S_{4H} + a_{\text{дин.н}} t(z - c) + j\rho_{\text{л}} a_{\text{дин.н}} t = \\ = S_{4H} + E_1 B i \frac{j(t+k)}{a_{\text{дин.н}}} - a_{\text{дин.н}} E_1 (z - c) = E_1 p j \rho_{\text{л}} a_{\text{дин.н}} \end{aligned}$$

После преобразований получим зависимость динамической скорости распространения волны растяжения на порожней ветви

$$a_{\text{дин.н}} = \sqrt{\frac{E_0 \cdot K_{\text{дин.}}}{\rho_{\text{л}} + \frac{(z-c)}{j}}} \quad (20)$$

где $K_{\text{дин.}} = \frac{t+k}{t+pE_1}$ - коэффициент динамичности; $E_0 = E_1 B i$ - агрегат-

ная статическая жесткость ленты

или

$$a_{\text{дин.н}} = \sqrt{\frac{E_{\text{дин.}}}{\rho_{\text{л}} + \frac{(z-c)}{j}}} \quad (21)$$

где $E_{\text{дин.}} = E_0 \cdot K_{\text{дин.}}$ - динамическая жесткость ленты.

Динамическая скорость распространения упругой волны по неподвижной ленте во время изменения длины транспортирования зависит от: ускорения концевой или выносной станции, удельного сопротивления движения ленты по роликам, материала ленты. Неподвижный отрезок ленты, имеющий одинаковое натяжение по концам,

начнет двигаться только тогда, когда разность натяжений по концам превысит статические сопротивления [11]. Если же отрезок движется, то статические сопротивления уже преодолены и повышение натяжения на одном из концов немедленно (без запаздывания) вызовет ускорение отрезка (фазу разгона). По этой причине скорость распространения упругой волны в неподвижной ленте (100 - 200 м/с) значительно ниже, чем в движущейся. Данные экспериментов, проведенные проф. Н.Я. Биличенко и исследования проф. Б.А. Кузнецова, подтверждают это.

По этой же причине если динамическая волна распространяется по движущейся ленте, то градиент статических натяжений после прохождения волны и до нее всегда равен нулю ($z - c = 0$) и вместо выражений (21) будем иметь фазу разгона

$$a_{дин.л} = \sqrt{\frac{E_{дин}}{\rho_л}} \quad (22)$$

Задав значения параметров, определим возникающие скорости упругой деформации в ленте во время изменения длины транспортирования конвейера.

Скорость распространения динамической волны упругой деформации в работающем конвейере для ленты из терилена, винилона, анида определим по зависимости (22). Для терилена $E_1 = 2800$ кГ/см, $E_2 = 1100$ кГ/см, $\eta = 10 \times 10^4$ кГ·сек/см; винилона $E_1 = 2500$ кГ/см, $E_2 = 1050$ кГ/см, $\eta = 7 \times 10^4$ кГ·сек/см; анида $E_1 = 2200$ кГ/см, $E_2 = 850$ кГ/см, $\eta = 4 \times 10^4$ кГ·сек/см [10].

Погонную массу движущейся порожней ветви ленты $\rho_л$ определим по зависимости

$$\rho_л = 1,1\delta_л B \quad (23)$$

где $\delta_л = (\delta_0 i + \delta_1 + \delta_2)$ - толщина ленты в мм; δ_0 - толщина прокладки (принимают $\delta_0 = 1,2$ мм для ткани прочностью 55 Н/мм и $\delta_0 = 2$ мм для ткани прочностью 400 Н/мм); $i = 3$ - число прокладок; δ_1 - толщина верхней обкладки ленты; δ_2 - толщина нижней обкладки ленты; (для среднеабразивных мелкокусковых грузов $\delta_1 = 3 - 4,5$ мм, $\delta_2 = 1$ мм); B - ширина ленты в м.

При $i = 4$, $B = 1$ м, $\rho_л = 1,1(2 \cdot 3 + 3 + 1)1 = 11,2$ кГ/м

Таблица 1. Определения скорости распространения динамической волны упругой деформации в ленте работающего конвейера при изменении длины транспортирования

Материал ленты	Анид	Винилон	Терилен
$k = \eta \frac{E_1 + E_2}{E_1 E_2}$, сек	65,2	94,7	126,6
$p = \frac{\eta}{E_2 E_1}$, см·сек/кГ	0,021	0,027	0,032
$K_{дин} = \frac{t + k}{t + pE_1}$	1,4	1,4	1,4
$E_0 = E_1 Bi$, кГ	66×104	75×104	84×104
$E_{дин} = E_0 K_{дин}$, кГ	92,4×104	105×104	117,6×104
$a_{дин.n} = \sqrt{\frac{E_{дин} \cdot g}{\rho_l}}$, м/сек	899,6	959	1014,9

Примечание: значения коэффициента динамичности рассчитаны для промежутка времени от 1 до 10 секунд.

Скорость распространения динамической волны упругой деформации в неработающем конвейере во время изменения длины транспортирования (при ускорении изменения длины транспортирования $j = 0,02$ м/с², длины участка $l_{3-4} = 500$ м, разности градиентов натяжений $(z - c) = 5,1$ Н/м) для ленты из терилена определим воспользовавшись уравнением (21).

$$a_{дин.n} = \sqrt{\frac{E_{дин} \cdot g}{\rho_l + \frac{(z-c)}{j}}} = \sqrt{\frac{117,6 \times 10^4 \cdot 9,81}{11,2 + \frac{(5,1)}{0,02}}} = 208,1 \text{ м/с}$$

для ленты из анида

$$a_{дин.n} = \sqrt{\frac{E_{дин} \cdot g}{\rho_l + \frac{(z-c)}{j}}} = \sqrt{\frac{92,4 \times 10^4 \cdot 9,81}{11,2 + \frac{(5,1)}{0,02}}} = 184,5 \text{ м/с}$$

для ленты из винилона

$$a_{дин.n} = \sqrt{\frac{E_{дин} \cdot g}{\rho_l + \frac{(z-c)}{j}}} = \sqrt{\frac{105 \times 10^4 \cdot 9,81}{11,2 + \frac{(5,1)}{0,02}}} = 196,7 \text{ м/с}$$

Выводы и направления дальнейших исследований.

1. Динамическая волна упругой деформации при удлинении или сокращении имеет место всегда, так как это связано с троганием, разгоном или замедлением ленты, статическая только при удлинении или сокращении не работающего конвейера.

2. Процесс изменения длины транспортирования в неработающем конвейере состоит из двух фаз трогания и разгона ленты, в работающем только разгона.

3. На скорость распространения упругой волны деформации влияют: физико-механические свойства ленты, эксплуатационные режимы работы и конструктивные особенности конвейера.

4. Скорость распространения упругих волн деформации в ленте в период фазы трогания в отличии от скорости распространения упругих волн деформации в ленте в период фазы разгона учитывает ускорение изменяющейся длины транспортирования и удельное сопротивление движению ленты по роликам.

5. Скорость распространения упругой деформации ленты работающего конвейера в несколько раз больше скорости распространения упругой деформации ленты не работающего.

Список источников:

1. Гаврюков А.В. Теория и практика использования ленточных конвейеров, работающих при изменяющейся длине / А.В. Гаврюков. – Макеевка: ДонНАСА, 2007. – 119с.
2. Биличенко Н.Я. Эксплуатационные режимы ленточных конвейеров / Н.Я. Биличенко, Е.М. Высочин, Е.Х. Завгородний. – К.: Госгортехиздат УССР, 1964. - 263 с.
3. Кузнецов Б.А. Динамика пуска длинных ленточных конвейеров. Транспорт шахт и карьеров / Б.А. Кузнецов. – М.: Недра., 1971. – С. 27-41.
4. Теплицкий Ф.Н. Методика исследования динамических режимов ленточного конвейера на ЭЦВМ / Ф.Н. Теплицкий // Горные, строительные и дорожные машины. – 1969. – Вып. 9.
5. Завгородний Е.Х. К вопросу о динамических нагрузках конвейерных лент при неустановившемся движении конвейеров / Е.Х. Завгородний // Вопросы рудничного транспорта. Сб.научных трудов. – 1962. – Вып.6. – С. 24-36.
6. Панкратов С.А. Динамика машин для открытых горных земляных работ / С.А. Панкратов. – М.: Машиностроение, 1967. 447 с.
7. Штокман И.Г. Динамические процессы в гибких тяговых органах при неустановившемся движении / И.Г. Штокман // Вопросы рудничного транспорта. Сб.научных трудов. – 1957. – Вып.2. – С. 61-71.
8. Шахмейстер Л.Г. Теория и расчет ленточных конвейеров: 2-е изд., перераб. и доп / Л.Г. Шахмейстер, В.Г. Дмитриев. – М.: Машиностроение, 1987. – 336 с.
9. Современная теория ленточных конвейеров горных предприятий / В.И. Галкин, В.Г. Дмитриев, В.П. Дьяченко и др. – М.: Изд-во МГГУ, 2005. – 543 с.
10. Лескевич В.И. Механические свойства конвейерных лент из синтетического волокна / В.И. Лескевич, В.К. Смирнов, В.П. Крот и др. //Вопросы рудничного транспорта. Сб. научных трудов. – 1970. – Вып. 11. – С. 117- 123.

11. Штокман И.Г. Природа и скорость распространения упругой волны статической деформации в тяговых органах конвейеров / И.Г. Штокман // Шахтный и карьерный транспорт. Сб. научных трудов. – 1974. – Вып. 1. – С. 143-147.

Стаття надійшла до редколегії 28.04.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. ДонНАБА Є.Б. Дружко

О.В. Гаврюков, А.К. Кралін, В.О. Талалай. Швидкість пружних деформацій в стрічці конвеєра з довжиною транспортування, що змінюється. У роботі представлена математична модель, що описує процес розповсюдження пружних деформацій в стрічці при зміні довжини транспортування конвеєра. Представлена модель враховує: модель реології стрічки, прискорення зміни довжини транспортування, параметри працюючого і непрацюючого конвеєра виходячи з найбільш простих допущень по середніх значеннях визначальних параметрів. Встановлено, що процес зміни довжини транспортування в непрацюючому конвеєрі складається з двох фаз чіпання і розгону стрічки, в тому, що працює тільки розгону. Швидкість розповсюдження пружної деформації стрічки працюючого конвеєра транспортування, що змінює довжину, у декілька разів більше швидкості розповсюдження пружної деформації стрічки не працюючого конвеєра.

хвиля пружної деформації, статична напруга, натягнення стрічки, відносне подовження стрічки, швидкість зміни натягнення стрічки, погонна маса

A.Gavriukov, A.Kralin, V.Talalay. Rate of Elastic Deformations in a Belt of a Conveyer with Changing Conveying Length. The paper gives a mathematical model describing the process of elastic deformations propagation in a belt when the conveying length is changed. The model presented takes the following into account: rheological model of a belt; acceleration of conveying length change; parameters of a conveyer in operation and out of operation on the ground of average values of diagnostic variables. It has been established that the process of conveying length change in a conveyer out of operation involves two phases of both start-off and speed-up of a belt whereas a conveyer in operation has only a speed-up phase. Elastic deformations rate in a belt of a working conveyer which changes a conveying length exceeds greatly the elastic deformations rate in a belt of a conveyer out of operation.

wave of elastic deformation, static stress, belt tension, elongation of a belt, rate of belt tension change, linear mass

© Гаврюков А.В., Кралін А.К., Талалай В.А., 2011