

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЖЕННОСТИ ЛЕНТЫ ВО ВРЕМЯ НЕРАВНОУСКОРЕННОГО ИЗМЕНЕНИЯ ДЛИНЫ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ КОНВЕЙЕРА

Гаврюков А. В.

Приведена заключительная часть теоретических исследований, посвященных определению возникающей нагрузки ленты во время неравноускоренного изменения длины транспортирования конвейера. Установлено, что изменения натяжения в ленте всегда связаны с возникающей динамической и квазистатической волной упругой деформации, зависящей от скорости движения ленты. Приведен пример программной реализации расчета возникающей нагрузки ленты во время удлинения конвейера с остановленным приводом.

Наведено заключну частину теоретичних досліджень, присвячених визначенню виникаючої навантаженості стрічки під час нерівноприскореної зміни довжини транспортування конвеєра. Встановлено, що зміни натягу в стрічці завжди пов'язані з виникаючою динамічною і квазістатичною хвилею пружної деформації, яка залежить від швидкості руху стрічки. Наведено приклад програмної реалізації розрахунку виникаючої навантаженості стрічки під час подовження конвеєра з зупиненим приводом.

The article shows the final part of the theoretical research devoted to the determination of the belt loading during the non-uniformly accelerated changing of the conveyor length. It has been determined that changes in belt tension are always connected with the arising dynamic and quasi-static wave of elastic deformation depending on the belt speed. An example of the belt loading calculation during the lengthening of the conveyor with the stopped drive is given.

Гаврюков А. В.

канд. техн. наук, доц. ДНАСиА
gavryukov@ukr.net

ДНАСиА – Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,
г. Краматорск.

УДК 621.807.212.7

Гаврюков А. В.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЖЕННОСТИ ЛЕНТЫ ВО ВРЕМЯ НЕРАВНОУСКОРЕННОГО ИЗМЕНЕНИЯ ДЛИНЫ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ КОНВЕЙЕРА

Обеспечение непрерывных поточных технологий возможно при использовании машин непрерывного транспорта, к которым относят ленточные конвейеры. Применение ленточных конвейеров с изменяющейся длиной позволяет уменьшить время технологических операций, связанных с сокращением и удлинением конвейера, сократить число перегрузочных устройств, снизить энергоемкость при транспортировании грузов [1].

Вместе с тем применение ленточных конвейеров с изменяющейся длиной транспортирования может быть обеспечено лишь при правильном выборе конструктивных параметров и режимов работы, обеспечивающих минимальную нагруженность ленты. Ответ на поставленные задачи может дать математическая модель, описывающая процесс нагруженности ленты, возникающей во время изменения длины транспортирования конвейера.

В работе [2] приведены исследования, позволяющие определить возникающие изменения натяжения ленты во время равноускоренного удлинения конвейера. Очевидно, что изменять длину транспортирования равноускоренно довольно накладно, а в некоторых случаях невозможно. В работах [3] и [4] приведены зависимости для определения скорости порожней и грузенной ветви при неравноускоренном изменении длины транспортирования для конвейера с работающим приводом [3] и для конвейера с остановленным приводом [4], а в работе [5] приведены зависимости, описывающие изменение статического натяжения ленты во время неравноускоренного удлинения конвейера при различных режимах работы.

Вместе с тем, исследования, выполненные на экспериментальном ленточном конвейере, установленном в лаборатории кафедры ПТСДМО ДонНАСА, показали, что во время удлинения конвейера имеет место как динамическая, так и статическая нагруженность ленты.

Цель работы – разработать математическую модель, описывающую процесс нагруженности ленты во время неравноускоренного изменения длины транспортирования конвейера.

Поставленные задачи:

1. Выявить зависимости динамического увеличения натяжения ленты во время неравноускоренного удлинения конвейера с работающим и остановленным приводом;
2. Определить изменения натяжения ленты на барабане передвижной станции с учетом режима работы конвейера во время изменения длины транспортирования;
3. Разработать методику программной реализации полученных результатов, приемлемую для проектирования и исследований.

Увеличение натяжения в ленте всегда связано с возникающей в ней волной упругой деформации. Возникающая волна упругой деформации может быть динамической и квазистатической [6]. Динамическая волна связана с разгоном или замедлением движения ленты.

Определим динамическое увеличение натяжения ленты во время удлинения конвейера с работающим приводом.

Согласно закону Ньютона динамическое усилие для разгона отрезка ленты длиной dx

$$S_{дин.} = \partial m_{л.} \cdot j_{л.} = \rho \cdot dx \cdot \partial^2 u / \partial t^2, (H) \quad (1)$$

где $u(x, t)$ – смещение сечения ленты в момент времени t , к которому приложено усилие, что фактически является абсолютным удлинением, (м); ρ – суммарная погонная масса движущейся ветви ленты, (кг/м) (для грузенной ветви $\rho_{г.в.} = q_{л.} + q_{гр.}$, для порожней ветви $\rho_{п.в.} = q_{л.}$; $q_{л.}$ – погонная масса ленты, (кг/м); $q_{гр.}$ – погонная масса груза, (кг/м).

Аналогичное уравнение для определения динамического натяжения в ленте при нестационарном ее движении приведено в работе [7].

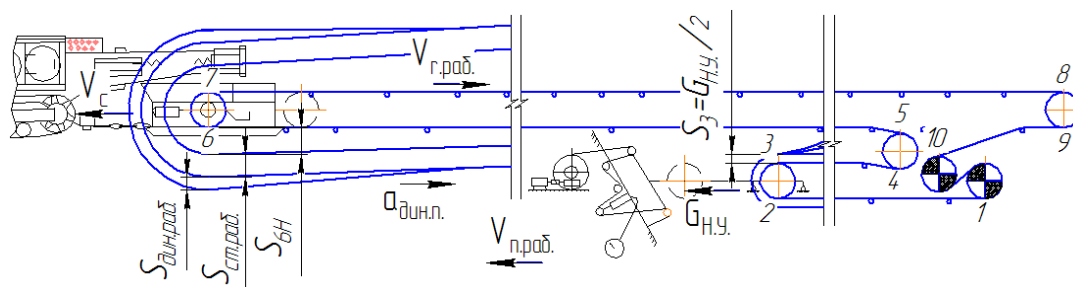


Рис. 1. Расчетная схема возникающих натяжений в ленте конвейера во время изменения длины транспортирования работающего конвейера

Заметим, что динамическая скорость распространения упругих деформаций в ленте $a_{дин.п.} = dx / dt$, а скорость смещения сечения ленты во время изменения длины транспортирования, без учета скорости ленты, создаваемой приводом конвейера, $V_{смещ.л.} = du / dt$. Очевидно, что во время изменения длины транспортирования для работающего конвейера эта скорость соответствует скорости изменения длины V_c (скорости передвижной станции), для конвейера с остановленным приводом эта скорость соответствует скорости порожней $V_{п.ост.}$ или грузенной $V_{г.ост.}$ ветви.

Так как натяжение в точке 6 практически равно натяжению в точке 7, изменение динамической нагруженности ленты на барабане передвижной станции целесообразно рассматривать для порожней ветви. Отсюда

$$S_{дин.ост.} = a_{дин.ост.} \cdot q_l \cdot V_{п.ост.}, \quad (H) \quad (2)$$

$$S_{дин.р.аб.} = a_{дин.р.аб.} \cdot q_l \cdot V_{с.р.аб.}, \quad (H) \quad (3)$$

Определим динамическую скорость распространения волны упругой деформации в ленте во время изменения длины транспортирования работающего конвейера.

Фронт динамической волны упругой деформации во время изменения длины транспортирования проходит за время t путь

$$x = a_{дин.р.аб.} \cdot t, \quad (M) \quad (4)$$

На фронте волны растяжения статическое натяжение в ленте перед началом движения передвижной станции

$$S_{a.р.аб.} = (S_{6H}^{р.аб.} - c_{р.аб.} \cdot x), \quad (H) \quad (5)$$

$$c_{р.аб.} = (S_{6H}^{р.аб.} - S_3) / l_{3-6}, \quad (H/M) \quad (6)$$

где $S_{6H}^{р.аб.} = \Omega_n l_{3-6} + G_{H.У.} / 2$ – начальное статическое натяжение ленты в точке 6 конвейера с работающим приводом, (H); $c_{р.аб.}$ – градиент статического натяжения ленты перед началом движения передвижной станции конвейера, (H/M); $S_3 = G_{H.У.} / 2$ – статическое натяжение ленты в точке 3, (H); l_{3-6} – расстояние между передвижной станцией и натяжным устройством, (м); Ω_n – удельное статическое сопротивление движению порожней ветви (H/м) [4].

После приложения перемещающей силы, натяжение ленты в точке 6 конвейера с работающим приводом

$$S_{6р.аб.} = S_{a.р.аб.} + S_{ст.р.аб.} + S_{дин.р.аб.}, \quad (H) \quad (7)$$

где $S_{ст.р.аб.}$ – увеличение статического натяжения в ленте во время изменения длины транспортирования работающего конвейера, (H); $S_{дин.р.аб.}$ – динамическое натяжение ленты во время изменения длины транспортирования работающего конвейера, (H).

Градиент статического натяжения ленты, во время изменения длины конвейера с работающим приводом

$$z_{раб.} = (S'_{6раб.} - S_3) / l_{3-6}, \text{ (Н/м)} \quad (8)$$

где $S'_{6раб.} = S_{6H}^{раб.} + S_{ст.раб.}$ – статическое натяжение ленты в точке 6 во время изменения длины работающего конвейера, (Н).

Подставив значения величин в (7), получим

$$S_{6раб.} = \left[S_{6H}^{раб.} + x(z_{раб.} - c_{раб.}) \right] + V_c q_l a_{дин.раб.}, \text{ (Н)} \quad (9)$$

Удлинение ленты δu на отрезке δx после начала движения передвижной станции.

$$\delta u = j_l \cdot (\delta t)^2, \text{ (м)} \quad (10)$$

где $j_l = j_{с.раб.} = \partial^2 u / \partial t^2$ – ускорение движения ленты во время перемещения передвижной станции, (м/с²);

Относительное удлинение ленты в точке 6

$$\varepsilon_{6раб.} = \delta u / \delta x \quad (11)$$

Подставив (11) в (10) и проинтегрировав по t , имеем

$$\varepsilon_{6раб.} = j_{с.раб.} t^2 / a_{дин.раб.} \quad (12)$$

$$S_{6раб.} = S_{6H}^{раб.} + \Delta S, \text{ (Н)} \quad (13)$$

где $\Delta S = \sigma_6 B_l i_{прокл.}$ – приращение натяжения ленты в точке 6, возникающее при перемещении концевой станции, (Н); B_l – ширина ленты, (м); $i_{прокл.}$ – число прокладок.

С учетом принятого допущения о том, что лента является изотропно-упругим телом, возникающее приращение напряжения в ленте

$$\Delta S_{раб.} = \sigma_{6раб.} B_l i_{прокл.} = E_{0дин.} \varepsilon_{6раб.}, \text{ (Н)} \quad (14)$$

где $E_{0дин.} = E_{дин.} B_l i_{прокл.}$ – динамический модуль упругости ленты, (Н); $E_{дин.}$ – динамический модуль упругости прокладки ленты, (Н/м); $\sigma_{6раб.}$ – напряжение на метр ширины ленты в точке 6, (Н/м).

Подставив уравнения (9), (14), (12) в уравнение (13) и считая, что в момент время t динамическая волна упругой деформации прошла расстояние $x = a_{дин.раб.} t$, а скорость смещения сечения ленты в точке 6 $V_{6раб.} = j_{с.раб.} t$ имеем

$$a_{дин.раб.} (z_{раб.} - c_{раб.}) + j_{с.раб.} q_l a_{дин.раб.} = E_{0дин.} j_{с.раб.} / a_{дин.раб.}, \text{ (Н)} \quad (15)$$

После преобразований уравнения (15), получим зависимость динамической скорости распространения волны упругой деформации на порожней ветви работающего конвейера

$$a_{дин.раб.} = \sqrt{\frac{E_{0дин.}}{q_l + (z_{раб.} - c_{раб.}) / j_{с.раб.}}}, \text{ (м/с)} \quad (16)$$

В работе [8] со ссылкой на работы [9, 10] указывается, что если динамическая волна распространяется по движущейся ленте, то разность градиентов статических натяжений после прихода волны и до нее всегда равна нулю $(z_{раб.} - c_{раб.}) = 0$.

Вместе с тем, после проведения экспериментальных исследований на кафедре ПТС-ДМО в Донбасской национальной академии строительства и архитектуры установлено, что разность градиентов статических натяжений для работающего конвейера $(z_{раб.} - c_{раб.}) \neq 0$.

Подставив уравнения (6), (8) в уравнение (16), получим

$$a_{\text{дин.раб.}} = \sqrt{\frac{E_{0.\text{дин.}} \cdot j_{c.\text{раб.}}}{q_{\text{л}} \cdot j_{c.\text{раб.}} + S_{\text{ст.раб.}} / l_{3-6}}}, \text{ (м/с)} \quad (17)$$

Определим динамического увеличения натяжения ленты во время изменения длины транспортирования конвейера с остановленным приводом.

Отличительной особенностью расчета динамической нагруженности ленты на барабане передвижной станции остановленного конвейера является присутствие фазы троганья и фазы разгона ленты.

Динамическая нагруженность ленты на барабане передвижной станции остановленного конвейера определится как сумма динамической нагруженности ленты в фазе троганья и разгона ленты.

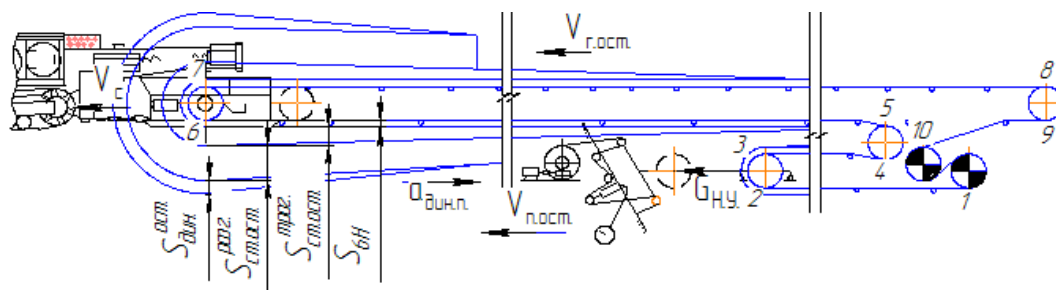


Рис. 2. Расчетная схема возникающих натяжений в ленте конвейера во время изменения длины транспортирования конвейера с остановленным приводом.

$$S_{\text{дин.ост.}} = S_{\text{дин.ост.}}^{\text{трог.}} + S_{\text{дин.ост.}}^{\text{разг.}}, \text{ (Н)} \quad (18)$$

При определении динамической нагруженности ленты на барабане передвижной станции остановленного конвейера во время фазы троганья зависимость (2) запишется

$$S_{\text{дин.ост.}}^{\text{трог.}} = a_{\text{дин.ост.}}^{\text{трог.}} \cdot q_{\text{л}} \cdot V_{\text{п.ост.}}^{\text{трог.}}, \text{ (Н)} \quad (19)$$

где $V_{\text{п.ост.}}^{\text{трог.}}$ – скорость изменения порожней ветви удлиняющегося конвейера с остановленным приводом за время $t_{\text{трог.}}$, (м/с) [5].

Аналогично предыдущим рассуждениям скорость распространения волны упругой деформации на порожней ветви остановленного конвейера в фазе троганья запишется

$$a_{\text{дин.ост.}}^{\text{трог.}} = \sqrt{\frac{E_{0.\text{дин.}}}{q_{\text{л}} + \left(z_{\text{ост.}}^{\text{трог.}} - c_{\text{ост.}}^{\text{трог.}} \right) / j_{\text{п.ост.}}^{\text{трог.}}}}, \text{ (м/с)} \quad (20)$$

Определим изменение градиенты статического натяжения ленты в фазе троганья, перед началом движения передвижной станции $c_{\text{ост.}}^{\text{трог.}}$ и во время фазы троганья $z_{\text{ост.}}^{\text{трог.}}$ конвейера с остановленным приводом [5]

$$c_{\text{ост.}}^{\text{трог.}} = \left(S_{6\text{Н}}^{\text{ост.}} - S_3 \right) / l_{3-6}, \text{ (Н/м)} \quad (21)$$

где $S_{6\text{Н}}^{\text{ост.}} = G_{\text{Н.У.}} / 2$ – натяжение ленты в точке 6 перед началом движения передвижной станции остановленного конвейера, (Н)

$$z_{\text{ост.}}^{\text{трог.}} = \left(S'_{6\text{ост.}} - S_3 \right) / l_{3-6}, \text{ (Н/м)} \quad (22)$$

где $S'_{6\text{ост.}} = S_{\text{ст.трог.}}^{\text{ост.}} + G_{\text{Н.У.}} / 2$ – натяжение ленты в точке 6 во время фазы троганья;

$S_{\text{ст.трог.}}^{\text{ост.}}$ – статическое увеличение натяжения ленты на барабане передвижной станции ленты конвейера с остановленным приводом в фазе троганья, (Н) [5].

Подставив уравнения (21), (22) в уравнение (20), получим

$$a_{дин.ост.}^{прог.} = \sqrt{\frac{E_{0.дин.} j_{н.ост.}^{прог.}}{q_{л} j_{н.ост.}^{прог.} + S_{ст.прог.}^{ост.} / l_{3-6}}}, \text{ (м/с)} \quad (23)$$

При определении динамической нагруженности ленты на барабане передвижной станции остановленного конвейера во время фазы разгона зависимость (2) запишется

$$S_{дин.ост.}^{разг.} = a_{дин.ост.}^{разг.} \cdot q_{л} \cdot V_{н.ост.}^{разг.}, \text{ (Н)} \quad (24)$$

где $V_{н.ост.}^{разг.}$ – скорость изменения порожней ветви удлиняющегося конвейера с остановленным приводом за период времени от $t_{прог.}$ до $t_{изм.дл.}$, (м/с) [5]. $S_{дин.ост.}^{разг.} = S_{дин.ост.}^{изм.дл.}$

Аналогично предыдущим рассуждениям, скорость распространения волны упругой деформации на порожней ветви остановленного конвейера в фазе разгона запишется

$$a_{дин.ост.}^{разг.} = \sqrt{\frac{E_{0.дин.}}{q_{л} + (z_{ост.}^{разг.} - c_{ост.}^{разг.}) / j_{н.ост.}^{разг.}}}, \text{ (м/с)} \quad (25)$$

Определим изменение градиенты статического натяжения ленты в фазе разгона после фазы троганья $c_{ост.}^{разг.}$ и во время изменения длины $z_{ост.}^{разг.}$ остановленного конвейера.

$$c_{ост.}^{разг.} = (S_{6H}^{разг.} - S_3) / l_{3-6}, \text{ (Н/м)} \quad (26)$$

где $S_{6H}^{разг.} = \Omega_n l_{3-6} + G_{H.Y.} / 2$ – натяжение ленты в точке 6 перед началом фазы разгона ленты остановленного конвейера, (Н)

$$z_{ост.}^{разг.} = (S_{6ост.}'' - S_3) / l_{3-6}, \text{ (Н/м)} \quad (27)$$

где $S_{6ост.}'' = S_{ст.разг.}^{ост.} + \Omega_n l_{3-6} + G_{H.Y.} / 2$ – натяжение ленты в точке 6 во время фазы разгона ленты остановленного конвейера, (Н); $S_{ст.разг.}^{ост.}$ – статическое увеличение натяжения ленты конвейера с остановленным приводом в фазе разгона – изменении длины, (Н) [5].

$$S_{ст.разг.}^{ост.} = S_{ст.ост.}^{изм.дл.}$$

Подставив уравнения (26), (27) в уравнение (25), получим

$$a_{дин.ост.}^{разг.} = \sqrt{\frac{E_{0.дин.} j_{н.ост.}^{разг.}}{q_{л} j_{н.ост.}^{разг.} + S_{ст.разг.}^{ост.} / l_{3-6}}}, \text{ (м/с)} \quad (28)$$

Определим изменения нагруженности ленты на барабане передвижной станции с учетом режима работы и параметров конвейера с работающим и остановленным приводом во время изменения длины транспортирования.

Возникающее натяжение ленты на барабане передвижной станции во время изменения длины транспортирования конвейера с остановленным приводом

$$S_{6ост.} = S_{6H}^{ост.} + S_{ст.ост.}^{прог.} + S_{ст.ост.}^{разг.} + S_{дин.ост.}^{прог.} + S_{дин.ост.}^{разг.}, \text{ (Н)} \quad (29)$$

Возникающее натяжение ленты на барабане передвижной станции во время изменения длины транспортирования конвейера с работающим приводом

$$S_{6раб.} = S_{6H}^{раб.} + S_{ст.раб.} + S_{дин.раб.}, \text{ (Н)} \quad (30)$$

Представим расчетный программный модуль математической модели возникающей нагруженности ленты на барабане передвижной станции во время удлинения конвейера в программном обеспечении Mathcad.

I. Методика расчета нагруженности ленты во время удлинения конвейера с остановленным приводом

1). Определим скорость и ускорение передвижной станции [4].

$$\mathfrak{R} = 2\beta_{\text{эл.дв.}} / (R_{\text{зв.}} i_{\text{ход.ред.}});$$

$$\aleph_{\text{ост.}} = R_{\text{зв.}} i_{\text{ход.ред.}} [2\Omega_n l_{3-6} + g(m_{\text{прох.ком.}} + m_{\text{Н.У.}} + m_{\text{см.}} + 6m_{\text{бар.}}) / 2];$$

$$\mathfrak{T}_{\text{ост.}} = \frac{2(J_{\text{р.эл.дв.}} + J_{1.\text{кол.ред.}} + J_{2.\text{кол.ред.}} i_{\text{ход.ред.}})}{R_{\text{зв.}} i_{\text{ход.ред.}}} +$$

$$+ R_{\text{зв.}} i_{\text{ход.ред.}} (4\Omega_n l_{3-6} / g + m_{\text{прох.ком.}} + m_{\text{Н.У.}} + m_{\text{см.}} + 6m_{\text{бар.}}) / 2;$$

$$V_{\text{с.ост.}} = (M_p - \aleph_{\text{ост.}}) [1 - \exp(-\mathfrak{R}t / \mathfrak{T}_{\text{ост.}})] / \mathfrak{R}; \quad j_{\text{с.ост.}} = (M_p - \aleph_{\text{ост.}}) \exp(-\mathfrak{R}t / \mathfrak{T}_{\text{ост.}}) / \mathfrak{T}_{\text{ост.}}$$

2). Определим скорость и ускорение порожней ветви конвейера [4].

$$P = \frac{(\Omega_n l_{9-6} + \Omega_r l_{7-8}) / g + 5 \cdot m_{\text{бар.}} + m_{\text{пр.пр.кон.}}}{2};$$

$$\Phi = [(\Omega_n l_{9-2} + l_{3-6} \Omega_n + \Omega_r l_{7-8}) / g + 5 \cdot m_{\text{бар.}} + m_{\text{пр.пр.кон.}}] \cdot [(\Omega_r l_{7-8} + \Omega_n l_{9-2} - \Omega_n l_{3-6}) / g + m_{\text{пр.пр.кон.}}];$$

$$\Lambda = (\Omega_r l_{7-8} + \Omega_n l_{9-2}) / g + 2,5m_{\text{бар.}} + m_{\text{пр.пр.кон.}};$$

$$V_{\text{н.ост.}} = V_{\text{с.ост.}} \left(\Lambda \pm \sqrt{\Lambda^2 - \Phi} \right) / P;$$

$$j_{\text{н.ост.}} = j_{\text{с.ост.}} \left(\Lambda \pm \sqrt{\Lambda^2 - \Phi} \right) / P.$$

3). Определим время существования статической волны троганья [4]

$$t_{\text{прог.}} - \exp(-\mathfrak{R}t_{\text{прог.}} / \mathfrak{T}_{\text{ост.}}) = P \mathfrak{R} l_{3-6} (\Omega_n l_{3-6} + G_{\text{Н.У.}}) / \left[2E_{0.\text{ост.}} (M_p - \aleph_{\text{ост.}}) \left(\Lambda \pm \sqrt{\Lambda^2 - \Phi} \right) \right]$$

4). Определим величину изменения статической нагруженности ленты за период времени от $t = 0$ до $t = t_{\text{прог.}}$ (в период фазы троганья) [4]

$$S_{\text{ст.прог.}}^{\text{ост.}} = -G_{\text{Н.У.}} / 2 + \left[G_{\text{Н.У.}}^2 / 4 + 2\Omega_n E_{0.\text{дин.}} \times \right. \\ \left. \times \frac{M_p - \aleph_{\text{ост.}}}{\mathfrak{R}} \cdot \frac{\Lambda \pm \sqrt{\Lambda^2 - \Phi}}{P} \left(t - e^{-\frac{\mathfrak{R}}{\mathfrak{T}_{\text{ост.}}} t} \right) \right]^{1/2}$$

5). Определим величину изменения статической нагруженности ленты за период времени от $t = t_{\text{прог.}}$ до $t = t_{\text{изм.дл.}}$ (в период фазы разгона-изменения длины) [4]

$$S_{\text{ст.из.дл.}}^{\text{остан.}} = \Omega_r l_{(3-6)} \left(2P - \Lambda + \sqrt{\Lambda^2 - \Phi} \right) (\Omega_n \times l_{(3-6)} + G_{\text{Н.У.}}) / \left[\left(\Lambda + \sqrt{\Lambda^2 - \Phi} \right) (2\Omega_n l_{3-6} + \right. \\ \left. + \Omega_r l_{(3-6)} + G_{\text{Н.У.}}) - 2P \Omega_r l_{(3-6)} \right]$$

6). Определим величину изменения динамической нагруженности ленты за период времени от $t = 0$ до $t = t_{\text{прог.}}$ (в период фазы троганья)

$$S_{\text{дин.ост.}}^{\text{прог.}} = q_l \cdot V_{\text{н.ост.}} \sqrt{\frac{E_{0.\text{дин.}} j_{\text{н.ост.}}^{\text{прог.}}}{q_l j_{\text{н.ост.}}^{\text{прог.}} + S_{\text{ст.прог.}}^{\text{ост.}} / l_{3-6}}}$$

7). Определим величину изменения динамической нагруженности ленты за период времени от $t = t_{\text{прог.}}$ до $t = t_{\text{изм.дл.}}$ (в период фазы разгона-изменения длины)

$$S_{\text{дин.ост.}}^{\text{изм.дл.}} = q_{\text{л}} \cdot V_{\text{н.ост.}} \cdot \sqrt{\frac{E_{0.\text{дин.}} \cdot j_{\text{н.ост.}}^{\text{разг.}}}{q_{\text{л}} j_{\text{н.ост.}}^{\text{разг.}} + S_{\text{ст.из.дл.}}^{\text{остан.}} / l_{3-6}}$$

8). Определим величину изменения натяжения ленты на барабане передвижной станции

$$S_{6\text{ост.}} = S_{6H}^{\text{ост.}} + S_{\text{ст.ост.}}^{\text{прог.}} + S_{\text{ст.из.дл.}}^{\text{остан.}} + S_{\text{дин.из.дл.}}^{\text{остан.}} + S_{\text{дин.ост.}}^{\text{разг.}}$$

II. Пример расчета в программном обеспечении Mathcad нагруженности ленты во время удлинения конвейера с остановленным приводом.

Принятые обозначения и исходные данные: $J_{\text{р.эл.дв.}} = J_{\text{дд}} = 3\text{кг}\cdot\text{м}^2$; $R_{\text{зв.}} = R_{\text{зз}} = 0,5 \text{ м}$;
 $l_{(3-6)} = L_{36} = 835 \text{ м}$; $m_{\text{Н.У.}} = M_{\text{ну}} = 150\text{кг}$; $J_{1.\text{кол.ред.}} = J_{1\text{к}} = 0,01\text{кг}\cdot\text{м}^2$; $f_{\text{мп.}} = f = 0,8$;
 $J_{2.\text{кол.ред.}} = J_{2\text{к}} = 25\text{кг}\cdot\text{м}^2$; $g = 10\text{м}/\text{с}^2$; $m_{\text{перед.ст.}} = M_{\text{с}} = 1000\text{кг}$; $l_{(9-6)} = L_{96} = 915 \text{ м}$;
 $l_{(9-2)} = L_{92} = 65 \text{ м}$; $m_{\text{бар.}} = M_{\text{ба}} = 100 \text{ кг}$; $\Omega_{\text{н}} = \Omega_{\text{п}} = 5,33 \text{ Н/м}$; $M_{\text{р}} = M_{\text{р}} = 700 \text{ Н}\cdot\text{м}$;
 $m_{\text{прох.ком.}} = M_{\text{пк}} = 3500\text{кг}$; $\beta_{\text{эл.дв.}} = \beta = 2\text{Н}\cdot\text{м}/\text{с}$; $l_{(7-8)} = L_{78} = 800 \text{ м}$; $\Omega_{\text{р}} = \Omega_{\text{р}} = 12,5 \text{ Н/м}$;
 $E_{0.\text{дин.}} = E_{\text{дин}} = 2600000\text{Н}$; $i_{\text{ход.ред.}} = i_{\text{р}} = 0,0064$; $q_{\text{л}} = q_{\text{л}} = 10 \text{ кг/м}$; $m_{\text{пр.пр.кон.}} = M_{\text{пр}} = 1250 \text{ кг}$;
 $j_{\text{с.ост.}} = j_{\text{с}}(t)$; $\mathfrak{R} = R$; $S_{\text{ст.из.дл.}}^{\text{ост.}} = S_{\text{псм}}(t)$; $\mathfrak{Z}_{\text{ост.}} = I$; $j_{\text{н.ост.}} = j_{\text{н}}(t)$; $\mathfrak{N}_{\text{ост.}} = N$; $V_{\text{с.ост.}} = V_{\text{с}}(t)$;
 $S_{6\text{ост.}} = S_6(t)$; $t_{\text{прог.}} = t_{\text{тр}}$; $V_{\text{н.ост.}} = V_{\text{н}}(t)$; $S_{\text{ст.прог.}}^{\text{ост.}} = S_{\text{смсм}}(t)$; $S_{\text{дин.ост.}}^{\text{прог.}} = S_{\text{мдин}}(t)$;
 $S_{\text{дин.ост.}}^{\text{изм.дл.}} = S_{\text{пдин}}(t)$; $S_{6H}^{\text{ост.}} = S_{6H}$.

1). Определение скорости и ускорения передвижной станции трубчатого конвейера с остановленным приводом во время изменения длины транспортирования:

$$I := \frac{2(J_{\text{дд}} + J_{1\text{к}} + J_{2\text{к}} \cdot i_{\text{р}})}{R_{\text{зз}} \cdot i_{\text{р}}} + \frac{R_{\text{зз}} \cdot i_{\text{р}} \left(4 \cdot \Omega_{\text{н}} \cdot \frac{L_{36}}{10} + M_{\text{нн}} + M_{\text{с}} \cdot f + M_{\text{пп}} + 6M_{\text{бар}} \right)}{2}$$

$$N := R_{\text{зз}} \cdot i_{\text{р}} \cdot \left[2\Omega_{\text{н}} \cdot L_{36} + \frac{10 \cdot (M_{\text{нн}} + M_{\text{с}} \cdot f + M_{\text{пп}} + 6M_{\text{бар}})}{2} \right]$$

$$j_{\text{с}}(t) = \frac{M_{\text{р}} - N}{I} \left(e^{-1 \cdot \frac{R}{I} t} \right) \quad V_{\text{с}}(t) = \frac{M_{\text{р}} - N}{R} \left(e^{-1 \cdot \frac{R}{I} t} \right)$$

2). Определение скорости и ускорения порожней ветви трубчатого конвейера с остановленным приводом во время изменения длины транспортирования:

$$\Phi := \left[\frac{\Omega_{\text{р}} \cdot L_{78} + \Omega_{\text{н}} \cdot L_{92} - \Omega_{\text{н}} \cdot L_{36}}{10} + M_{\text{пр}} \right] \left(\frac{\Omega_{\text{р}} \cdot L_{78} + \Omega_{\text{н}} \cdot L_{96}}{10} + 5 \cdot M_{\text{бар}} + M_{\text{пр}} \right)$$

$$P := \frac{\Omega_{\text{р}} \cdot L_{78} + \Omega_{\text{н}} \cdot L_{96}}{10} + 5 \cdot M_{\text{бар}} + M_{\text{пр}} \quad \Lambda := \frac{\Omega_{\text{р}} \cdot L_{78} + \Omega_{\text{н}} \cdot L_{96}}{10} + 2,5 \cdot M_{\text{бар}} + M_{\text{пр}}$$

$$V_{\text{н}}(t) := 2V_{\text{с}}(t) \frac{\Lambda \pm \sqrt{\Lambda^2 - \Phi}}{P} \quad j_{\text{н}}(t) := 2j_{\text{с}}(t) \frac{\Lambda \pm \sqrt{\Lambda^2 - \Phi}}{P}$$

3). Определение времени существования статической волны троганья ленты во время изменения длины транспортирования трубчатого конвейера с остановленным приводом:

$$\left(tmm - e^{-1 \cdot \frac{R}{I} tmm} \right) = \frac{R \cdot P \cdot L36 (\Omega n \cdot L36 + M_{HH} \cdot 10)}{4 \cdot E \delta \delta u \cdot (Mp - N) \left(\Lambda \pm \sqrt{\Lambda^2 - \Phi} \right)}$$

$$Find(tmm) \rightarrow 9.4691662805904385666$$

4). Определение статической нагруженности ленты на барабане передвижной станции трубчатого конвейера с остановленным приводом в период троганья ленты:

$$Smcm(t) := \begin{cases} \left[-Mny \cdot \frac{10}{2} + \sqrt{Mny^2 \cdot \frac{100}{4} + 4 \cdot \Omega n \cdot E \delta \delta u \cdot \frac{\Lambda + \sqrt{\Lambda^2 - \Phi}}{P} \cdot \left[\frac{Mp - N}{R} \cdot \left(t - e^{-\frac{R}{I} t} \right) \right]} \right] & \text{if } t < 9.47 \\ \Omega n \cdot L36 & \text{if } 9.47 \leq t < 20 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

5). Определение статической нагруженности ленты на барабане передвижной станции трубчатого конвейера с остановленным приводом в период разгона ленты и изменения длины транспортирования:

$$Spcm(t) := \begin{cases} \Omega n \cdot L36 & \text{if } 9.47 \leq t < 20 \\ \frac{\Omega r \cdot L36 \cdot \left(P - \Lambda + \sqrt{\Lambda^2 - \Phi} \right) (\Omega n \cdot L36 + Mny \cdot 10)}{\left(\Lambda + \sqrt{\Lambda^2 - \Phi} \right) \cdot (2 \cdot \Omega n \cdot L36 + \Omega r \cdot L36 + M_{HH} \cdot 10) - P \cdot \Omega r \cdot L36} & \text{if } 9.47 \leq t < 20 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

6). Определение динамической нагруженности ленты на барабане передвижной станции трубчатого конвейера с остановленным приводом в период троганья ленты:

$$Smdin(t) := \begin{cases} Vn(t) \cdot ql \cdot \sqrt{\frac{E \delta \delta u \cdot jn(t)}{ql \cdot jn(t) + \frac{Smcm(t)}{L36}}} & \text{if } t < 9.47 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

7). Определение динамической нагруженности ленты на барабане передвижной станции трубчатого конвейера с остановленным приводом в период разгона ленты и изменения длины транспортирования:

$$Spdin(t) := \begin{cases} 0 & \text{if } t < 9.47 \\ Vn(t) \cdot ql \cdot \sqrt{\frac{E \delta \delta u \cdot jn(t)}{ql \cdot jn(t) + \frac{Spcm(t)}{L36}}} & \text{otherwise} \end{cases}$$

8). Определение нагруженности ленты на барабане передвижной станции трубчатого конвейера с остановленным приводом во время изменения длины транспортирования (рис. 3):

$$S6H := \frac{M_{HH} \cdot 10}{2}$$

$$S6(t) := Smcm(t) + Spcm(t) + Smdin(t) + Spdin(t) + S6H$$

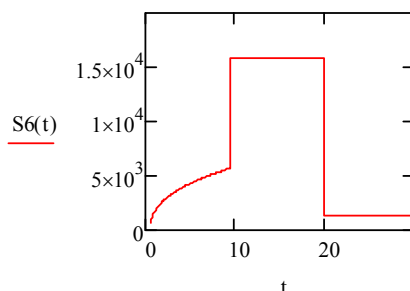


Рис. 3. График зависимости нагруженности ленты на барабане передвижной станции трубчатого конвейера с остановленным приводом во время изменения длины транспортирования

III. Методика расчета нагруженности ленты во время удлинения конвейера с работающим приводом

1). Определим скорость и ускорение передвижной станции [3].

$$\mathfrak{R} = 2\beta_{эл.дв.} / (R_{зв.} i_{ход.ред.}); \quad \mathfrak{T}_{раб.} = 2(J_{р.эл.дв.} + J_{1.кол.ред.} + J_{2.кол.ред.} i_{ход.ред.}) /$$

$$/ (R_{зв.} i_{ход.ред.}) + \frac{R_{зв.} i_{ход.ред.}}{2} (m_{прох.ком.} + m_{H.Y.} + m_{ст.} + m_{пр.пр.кон.} + m_{бар.} + \frac{\Omega_r l_{7-8}}{g} + \frac{\Omega_n l_{9-6}}{g});$$

$$\mathfrak{N}_{раб.} = R_{зв.} i_{ход.ред.} [\Omega_r l_{7-8} + \Omega_n l_{9-6} + g(m_{H.Y.} + m_{прох.ком.} + m_{пр.пр.кон.} + m_{бар.} + m_{ст.})] / 2;$$

$$V_{с.раб.} = (M_p - \mathfrak{N}_{раб.}) [1 - \exp(-\mathfrak{R}t / \mathfrak{T}_{раб.})] / \mathfrak{R}; \quad j_{с.раб.} = (M_p - \mathfrak{N}_{раб.}) \exp(-\mathfrak{R}t / \mathfrak{T}_{раб.}) / \mathfrak{R}.$$

2). Определим скорость порожней и груженой ветви конвейера [3, 5].

$$V_{р.раб.} = V_{Hл} - V_{с.раб.}; \quad V_{н.раб.} = V_{Hл} + V_{с.раб.}$$

3). Определим величину изменения статической нагруженности ленты [5]

$$R = V_{с.раб.} [2V_{н.раб.} (\Omega_n l_{(3-6)} + G_{H.Y.} / 2) + V_{с.раб.} \Omega_r l_{(3-6)}];$$

$$\Pi = 8V_{с.раб.}^2 V_{н.раб.} \Omega_r (V_{р.раб.} - V_{с.раб.}) \times (\Omega_n l_{(3-6)}^2 + G_{H.Y.} l_{(3-6)});$$

$$S_{ст.}^{раб.} = \frac{R + \sqrt{R^2 + \Pi}}{4V_{н.раб.} (V_{р.раб.} - V_{с.раб.})}.$$

4). Определим величину изменения динамической нагруженности ленты (в период фазы разгона-изменения длины)

$$S_{дин.раб.} = q_l \cdot V_{с.раб.} \sqrt{\frac{E_{0.дин.} j_{с.раб.}}{q_l j_{с.раб.} + S_{ст.раб.} / l_{3-6}}}.$$

5). Определим величину изменения натяжения ленты на барабане передвижной станции:

$$S_{6раб.} = S_{6H}^{раб.} + S_{ст.раб.} + S_{дин.раб.}$$

Нагруженность ленты во время удлинения конвейера с работающим приводом для тех же расчетных данных (рис. 4).

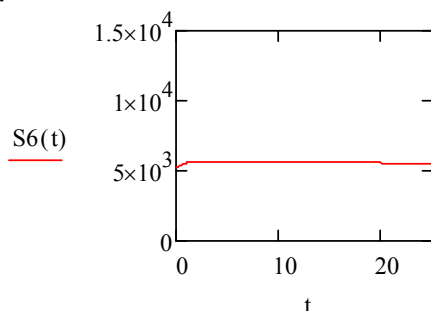


Рис. 4. График зависимости нагруженности ленты во время удлинения конвейера с работающим приводом

ВЫВОДЫ

1. Изменение натяжения в ленте всегда связано с возникающей динамической и квазистатической волной упругой деформации, зависящей от скорости движения ленты.
2. Величина возникающего динамического натяжения ленты зависит от скорости разгона или замедления движения ленты.
3. Величина возникающего приращения статического натяжения ленты зависит от скорости движения порожней и грузовой ветви. Пока эти скорости различны, увеличение статического натяжения ленты имеет место.
4. Во время удлинения конвейера с остановленным приводом различие между скоростью движения порожней и грузовой ветви наибольшее, увеличение статического натяжения ленты также наибольшее.
5. Величина составляющей приращения статического натяжения ленты, возникающей во время фазы разгона и изменения длины, не зависит от скорости перемещения передвигной станции.
6. Возникающее увеличение натяжения ленты для конвейера с остановленным приводом может быть в 2 и более раз выше, чем для конвейера с работающим приводом.
7. При перемещении передвигной станции конвейера проходческим комбайном величина динамической нагруженности ленты меньше величины приращения статической нагруженности ленты.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гаврюков А.В. Теория и практика использования ленточных конвейеров, работающих при изменяющейся длине / Гаврюков А.В. / – Макеевка: ДонНАСА, 2007. – 119с.
2. Гаврюков А.В. Математическая модель процесса распространения упругих деформаций, в ленте конвейера с изменяющейся длиной транспортирования / Гаврюков А.В., Третьяк А.В. // Наукові праці ДНТУ. Серія «Гірничо-електромеханічна». – 2014. – Вип. 1(27). – С.40–76.
3. Гаврюков А.В. Определение скорости и ускорения передвигной станции во время изменения длины транспортирования работающего проходческого конвейера / Гаврюков А.В. // Научный вестник ДГМА. – 2015. – Вип. №1 (16E). – С. 37–43.
4. Гаврюков О.В. Визначення швидкості руху стрічки на верхній і нижній гілці конвеєра при працюючому і зупиненому приводі під час зміни довжини транспортування / О. В. Гаврюков // Научный вестник ДГМА. – Краматорск ДГМА, 2015. – № 3 (18E). – С. 70–79.
5. Гаврюков А.В. Определение статического увеличения натяжения ленты во время изменения длины транспортирования конвейера / Гаврюков А.В. // Научный вестник ДГМА. – 2016. – № 1 (19E). – С. 9–18.
6. Штокман И.Г. Природа и скорость распространения упругой волны статической деформации в тяговых органах конвейеров / Штокман И.Г. // Шахтный и карьерный транспорт. Сб. научных трудов. – М. : Недра, 1974. – Вип. 1. – С. 143–147.
7. Шахмейстер Л.Г. Теория и расчет ленточных конвейеров. – 2-е изд., перераб. и доп. / Шахмейстер Л.Г. – М.: Машиностроение, 1987. – 336 с.
8. Гаврюков А.В. Скорость упругих деформаций в ленте конвейера с изменяющейся длиной транспортирования / Гаврюков А.В., Кралин А.К., Талалай В.А. // Наукові праці ДНТУ. Серія «Гірничо-електромеханічна». – 2011. – Вип. 21(189). – С. 26–35.
9. Биличенко Н.Я. Эксплуатационные режимы ленточных конвейеров / Биличенко Н.Я., Высочин Е.М., Завгородний Е.Х. – Киев: Госгортехиздат УССР, 1964. – 263 с.
10. Кузнецов Б.А. Динамика пуска длинных ленточных конвейеров. / Кузнецов Б.А. // Кн.: Транспорт шахт и карьеров. М.: Недра. – 1971. – С. 27–41.