

Градиент статического натяжения ленты до начала движения передвижной станции:

$$c = (S_{6H} - S_{3H}) / l_{3-6} \quad (H / м), \quad (1)$$

где $S_{3H} = S_{6H} = G_{H.Y} / 2$ начальное статическое натяжения ленты в точках 6 и 3; $G_{H.Y}$ — усилие натяжного устройства. Соответственно, до начала движения передвижной станции $c = 0$.

Градиент статического натяжения ленты при движении передвижной станции:

$$z = (S'_6 - S'_3) / l_{3-6} \quad (H / м). \quad (2)$$

Статическое натяжение ленты в точке 6 при движении передвижной станции:

$$S'_6 = g[(\rho_l + q_p'') \omega' \cdot \cos \beta \pm \rho_l \sin \beta] \cdot l_{3-6} + G_{H.Y} / 2 \quad (H),$$

где ρ_l — погонная масса ленты, q_p'' — погонная масса роликов.

Статическое натяжение ленты в точке 3 при движении передвижной станции:

$$S'_3 = G_{H.Y} / 2 \quad (H).$$

Выполнив подстановку, определим градиент статического натяжения ленты при движении передвижной станции:

$$z = g(\rho_l + q_p'') \omega' \cdot \cos \beta \pm \rho_l \sin \beta \quad (H / м). \quad (3)$$

Разность градиентов статического натяжения ленты неработающего конвейера

до начала движения передвижной станции и после:

$$(z - c) = g[(\rho_l + q_p'') \omega' \cdot \cos \beta \pm \rho_l \sin \beta] (H / м) \\ (z - c) = \Omega_{II} (H / м). \quad (4)$$

Увеличение статического натяжения ленты, возникающее во время изменения длины транспортирования остановленного конвейера в период фазы трогания:

$$S_{СТ.ТРОГ}^{ОСТАВ} = \Omega_{II} \cdot l_{3-6} \quad (H).$$

Фаза трогания существует до момента прихода волны упругой деформации растяжения от барабана передвижной станции к натяжному устройству. После этого возникает фаза разгона, мы как бы рассматриваем изменение длины транспортирования уже в работающем конвейере.

Воспользовавшись методикой, приведенной в работе [1], определим возникающий скачок статического натяжения ленты в период фазы разгона остановленного конвейера.

На рисунке 2 приведена схема изменения статических натяжений в ленте остановленного конвейера в период фазы разгона. За начало отсчета координаты фронта волны на порожней ветви примем точку 6, а на грузовой — точку 7 (рис. 2). Обозначим координату фронта волны величиной x .

Рассмотрим распространение упругой квазистатической волны деформации вдоль тягового органа для порожней ветви (рис. 3).

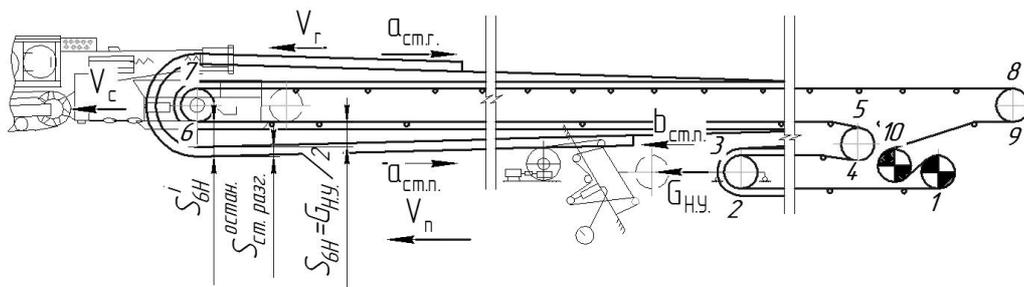


Рисунок 2 — Схема изменения статических натяжений в ленте во время изменения длины транспортирования остановленного конвейера в период фазы разгона

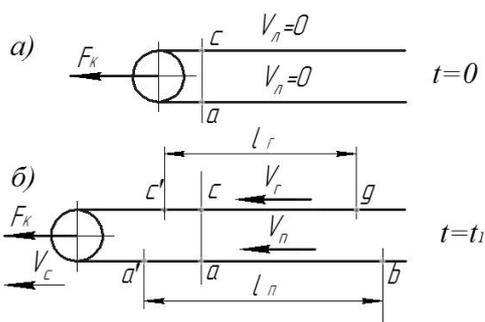


Рисунок 3 — Схема перемещения квазистатической волны упругой деформации вдоль тягового органа при остановленном конвейере

Пусть время $t = 0$ соответствует началу приложения перемещающей силы (рис. 3а). С этого момента от точки «а» вдоль тягового органа начинает перемещаться квазистатическая волна деформации.

К моменту времени $t = t_1$ (рис. 3б) точка «а» прошла путь «аа'», а фронт волны достиг точки «б».

Напряжение в любой точке этого участка

$$S = \Omega_{\Pi} \cdot x + G_{H.Y} / 2 + S_{CT.PAZ}^{OCTAH} \quad (H). \quad (5)$$

Обозначим:

$$G_{H.Y} / 2 + S_{CT.PAZ}^{OCTAH} = M \quad (H),$$

где $S_{CT.PAZ}^{OCTAH}$ — увеличение статического натяжения ленты, возникающее во время изменения длины транспортирования остановленного конвейера, в период фазы разгона. Определим величину деформации Δl участка «ab». Поскольку напряжение, действующее на рассматриваемый элемент dx на порожней ветви, равно $\Omega_{\Pi} \cdot x + M$ (рис. 4а).

Деформация элемента равна:

$$d\Delta l = (\Omega_{\Pi} \cdot x + M) dx / E_{0CT}.$$

Удлинение всего участка:

$$\begin{aligned} \Delta l &= \int_0^l (\Omega_{\Pi} \cdot x + M) dx / E_{0CT} = \\ &= (\Omega_{\Pi} \cdot l^2 + 2Ml) / 2E_{0CT}. \end{aligned}$$

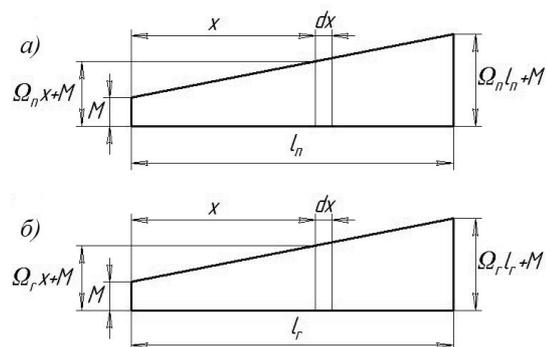


Рисунок 4 — Графики изменения натяжений ленты при остановленном конвейере, в порожней (а) и грузовой (б) ветвях

Продифференцировав по t и отметив, что $d\Delta l/dt$ есть скорость тягового органа порожней ветви в точке «а», dl/dt — искомая скорость распространения упругой квазистатической волны деформации растяжения на порожней ветви, получим:

$$a_{CT.П} = \frac{V_{\Pi} \cdot E_{0CT}}{\Omega_{\Pi} \cdot l + M} \quad (м/с). \quad (6)$$

Скорость распространения упругой квазистатической волны деформации сжатия порожней ветви будет иметь вид:

$$b_{CT.П} = \frac{V_{\Pi} \cdot E_{0CT}}{\Omega_{\Pi} \cdot l + G_{H.Y} / 2} \quad (м/с). \quad (7)$$

Рассмотрим распространение упругой квазистатической волны деформации вдоль тягового органа грузовой ветви, в данном случае волны растяжения.

Пусть момент времени $t = 0$ соответствует началу приложения перемещающей силы (рис. 3а). Начиная с этого момента от точки «с» вдоль тягового органа начинает перемещаться квазистатическая волна деформации.

В момент времени $t = t_1$ точка «с» прошла путь «сс'», а фронт волны достиг точки «г» (рис. 3б).

Натяжение тягового органа на этом участке:

$$S = \Omega_{\Gamma} \cdot x + G_{H.Y} / 2 + S_{CT.PAZ}^{OCTAH} \quad (H). \quad (8)$$

Определим величину деформации Δl

РОЗРОБКА КОРИСНИХ КОПАЛИН

участка «сг». Выделим элемент dx на расстоянии x от точки «г» (рис. 4б).

Поскольку натяжение, действующее на рассматриваемый элемент dx равно $\Omega_{\Gamma} \cdot x + M$ (рис. 4б), то деформация элемента грузовой ветви:

$$d\Delta l = (\Omega_{\Gamma} \cdot x + M)dx / E_{0CT} .$$

Удлинение всего участка «сг»:

$$\begin{aligned} \Delta l &= \int_0^l (\Omega_{\Gamma} \cdot x + M)dx / E_{0CT} = \\ &= (\Omega_{\Gamma} \cdot l^2 + 2Ml) / 2E_{0CT} . \end{aligned}$$

Дифференцируя это выражение по t , получим:

$$\frac{d\Delta l}{dt} = \frac{\Omega_{\Gamma} \cdot l}{E_{0CT}} \cdot \frac{dl}{dt} + \frac{M}{E_{0CT}} \cdot \frac{dl}{dt} .$$

Здесь $d\Delta l/dt$ — скорость перемещения тягового органа грузовой ветви в точке «с», а dl/dt — искомая скорость распространения упругой квазистатической волны деформации растяжения на грузовой ветви. Отсюда, скорость распространения упругой квазистатической волны деформации растяжения на грузовой ветви:

$$a_{сг.г} = \frac{V_{\Gamma} \cdot E_{0CT}}{\Omega_{\Gamma} \cdot l + M} \quad (м/с). \quad (9)$$

Так как скорость движения ленты на порожней ветви может иметь значения $V_{\Pi} \leq 2V_C$ то скорость движения точки «с» на грузовой ветви $V_{\Gamma} = 2V_C - V_{\Pi}$ (м/с). Вследствие различия скоростей упругих квазистатических волн деформаций на грузовой и порожней ветвях конвейера после приложения перемещающей силы, время начала движения сжатия на грузовой ветви $t_{г.р.сг}$ наступает после окончания движения волны растяжения $t_{п.р.сг}$ и сжатия $t_{п.с.сг}$ на порожней ветви и срабатывания натяжного устройства $t_{н.у}$.

$$t_{г.р.сг} = t_{п.р.сг} + t_{п.с.сг} + t_{н.у} \quad (с). \quad (10)$$

Время движения квазистатической волны растяжения на порожней ветви от точки 6 к точке 3:

$$\begin{aligned} t_{п.р.сг} &= \int_0^{l_{(3-6)}} \frac{\Omega_{\Pi} x + M}{V_{\Pi} E_{0CT}} dx = \\ &= \frac{\Omega_{\Pi} l_{(3-6)}^2 + 2Ml_{(3-6)}}{2V_{\Pi} E_{0CT}} \quad (с). \quad (11) \end{aligned}$$

Время движения квазистатической волны сжатия на порожней ветви от точки 3 к точке 6:

$$\begin{aligned} t_{п.с.сг} &= \int_0^{l_{(3-6)}} \frac{\Omega_{\Pi} x + G_{н.у} / 2}{V_{\Pi} E_{0CT}} dx = \\ &= \frac{\Omega_{\Pi} l_{(3-6)}^2 + G_{н.у} l_{(3-6)}}{2V_{\Pi} E_{0CT}} \quad (с). \quad (12) \end{aligned}$$

Подставив полученные выражения в формулу (10), приняв допущение что $t_{н.у} = 0$ и выполнив преобразования, получим:

$$\begin{aligned} \Omega_{\Gamma} l^2 + 2Ml - \frac{V_{\Gamma}}{V_{\Pi}} 2l_{(3-6)} \times \\ \times (\Omega_{\Pi} l_{(3-6)} + M + \frac{G_{н.у}}{2}) = 0 \quad (H/м). \quad (13) \end{aligned}$$

Из уравнения (13) определим величину длины распространения упругой квазистатической волны деформации растяжения на грузовой ветви.

$$l = \frac{\sqrt{M^2 + K\Omega_{\Gamma}} - M}{\Omega_{\Gamma}} \quad (м), \quad (14)$$

где

$$\begin{aligned} K = \frac{V_{\Gamma}}{V_{\Pi}} 2l_{(3-6)} (\Omega_{\Pi} l_{(3-6)} + M + \\ + \frac{G_{н.у}}{2}) \quad (H/м). \quad (15) \end{aligned}$$

В конвейере, имеющем бесконечно большую длину, грузую ветвь можно рассматривать как закрепленный одним концом изотропно-упругий стержень.

Согласно закону Гука, возникающее приращение натяжения, при удлинении тягового органа (стержня):

$$S_{сг.раз}^{ОСТАВ} = \varepsilon_{\Gamma} E_{0CT} \quad (H). \quad (16)$$

РОЗРОБКА КОРИСНИХ КОПАЛИН

Относительное удлинение грузовой ветви тягового органа:

$$\varepsilon_{\Gamma} = \Delta x_{\Gamma} / l. \quad (17)$$

Абсолютное удлинение грузовой ветви конвейера во время перемещения станции:

$$\Delta x_{\Gamma} = V_C \cdot t_{\Gamma.P.СТ.} \quad (м). \quad (18)$$

Подставив уравнения (11), (12) в уравнение (10) и упростив его через K (15) при $t_{H.Y} = 0$, получим:

$$t_{\Gamma.P.СТ.} = \frac{K}{2V_{\Gamma} E_{0.СТ.}} \quad (с). \quad (19)$$

Подставив уравнения (19), (18), (17), (14) в уравнение (16), получим:

$$S_{СТ.ПАЗ}^{ОСТАН} = \frac{V_C}{2V_{\Gamma}} \cdot \frac{K\Omega_{\Gamma}}{\sqrt{M^2 + K\Omega_{\Gamma}} - M} \quad (H). \quad (20)$$

Выделив из величин K и M величину $S_{СТ.ПАЗ}^{ОСТАН}$ и сделав преобразования, получим:

$$\begin{aligned} & (S_{СТ.ПАЗ}^{ОСТАН})^2 2V_{\Pi} (V_{\Gamma} - V_C) - S_{СТ.ПАЗ}^{ОСТАН} \times \\ & \times V_C \left(V_C \Omega_{\Gamma} l_{(3-6)} + V_{\Pi} \frac{G_{H.Y}}{2} \right) - \\ & - V_C^2 \Omega_{\Gamma} l_{(3-6)} (\Omega_{\Pi} l_{(3-6)} + G_{H.Y}) = \\ & = 0 \quad (H^2 \cdot м^2 / с^2). \quad (21) \end{aligned}$$

Решая и преобразовывая уравнение (21) получим:

$$S_{СТ.ПАЗ}^{ОСТАН} = \frac{N + \sqrt{N^2 + Z}}{4V_{\Pi} (V_{\Gamma} - V_C)} \quad (H). \quad (22)$$

Учитывая векторный характер скорости ленты на порожней и грузовой ветвях, величину $(V_{\Gamma} - V_C)$ в зависимости (22), необходимо брать по абсолютной величине. Подставив значение $V_{\Gamma} = 2V_C - V_{\Pi}$ и выполнив преобразования, получим:

$$S_{СТ.ПАЗ}^{ОСТАН} = \frac{N + \sqrt{N^2 + Z}}{4V_{\Pi} (V_C - V_{\Pi})} \quad (H), \quad (23)$$

где

$$\begin{aligned} N &= V_C \left(V_C \Omega_{\Gamma} l_{(3-6)} + V_{\Pi} \frac{G_{H.Y}}{2} \right) (H \cdot м^2 / с^2) \\ Z &= 8V_{\Pi} V_C^2 \Omega_{\Gamma} (V_C - V_{\Pi}) \times \\ & \times (\Omega_{\Pi} l_{(3-6)}^2 + G_{H.Y} l_{(3-6)}) (H^2 \cdot м^4 / с^4). \end{aligned}$$

Величина скачка статического натяжения ленты во время удлинения остановленного конвейера равна:

$$S_{СТ}^{ОСТАН} = S_{СТ.ПРОГ}^{ОСТАН} + S_{СТ.ПАЗ}^{ОСТАН}.$$

Применительно к конвейеру 1ЛТП 80 с длиной транспортирования 150 (м), углом установки $\beta = 0^{\circ}$ был получен график изменения скачка статического натяжения ленты, в зависимости от скорости перемещения передвижной станции и усилия натяжного устройства (рис. 5).

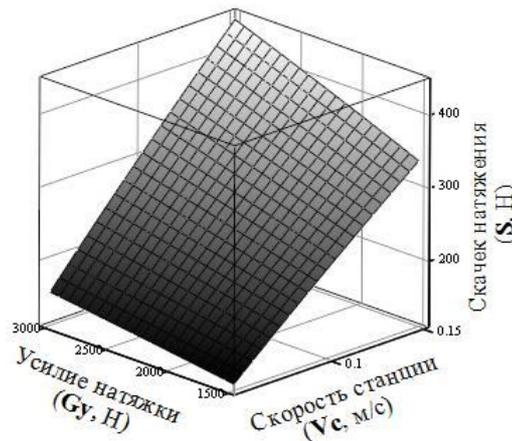


Рисунок 5 — График теоретической зависимости статического скачка натяжения в ленте конвейера от скорости передвижной станции и усилия натяжного устройства

Выводы: Полученные теоретические зависимости показывают, что скорость изменения длины транспортирования и усилие натяжного устройства существенно влияют на величину статического скачка натяжения в ленте остановленного конвейера во время его удлинения.

Также эти зависимости позволяют дать правильные рекомендации при выборе режима изменения длины транспортирования конвейера.

Библиографический список

1. Гаврюков А. В. Теория и практика использования ленточных конвейеров, работающих при изменяющейся длине: [монография] / А. В. Гаврюков. — Макеевка: ДонНАСА, 2007. — 119 с.
2. Третьяк А. В. Исследование динамической нагруженности ленты конвейера с изменяющейся длиной транспортирования в процессе его удлинения / А. В. Третьяк // Наукові праці ДонНТУ. Серія: «Гірничо-електромеханічна». — 2013. — Вип. 1(25). — С. 191–200.
3. Кузнецов Б. А. Динамика пуска длинных ленточных конвейеров / Б. А. Кузнецов // Кн.: Транспорт шахт и карьеров. — М.: Недра, 1971. — С. 27–41.

**Рекомендована к печати д.т.н., проф. ДонГТУ Корнеевым С. В.,
д.т.н., проф. ДонНАСА Кондрахиным В. П.**

Статья поступила в редакцию 27.02.14.

Трет`як А. В. (ДонНАБА, м. Макіївка, Україна, E-mail: andriuhamaster@ya.ru)

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИНИКНЕННЯ СТАТИЧНОГО СТРИБКА НАТЯГУ В СТРИЦІ ЗУПИНЕНОГО КОНВЕЄРА ПІД ЧАС ЗМІНИ ЙОГО ДОВЖИНИ ТРАНСПОРТУВАННЯ

У статті розглянуто процес поширення квазістатичної хвилі пружної деформації в стрічці зупиненого конвеєра, під час зміни його довжини транспортування. Наведена залежність для визначення виникаючого при цьому статичного стрибка натягу стрічки. За результатами досліджень побудований графік зміни чисельного значення стрибка статичного натягу стрічки для конвеєра ІЛТП 80, в залежності від швидкості пересувної станції і попереднього натягу стрічки.

Ключові слова: стрічковий конвеєр, статичний стрибок натягу, зміна довжини транспортування, натяжний пристрій, квазістатична хвиля пружної деформації.

Tretiak A. V. (DonNACEA Makeyevka, Ukraine, andriuhamaster@ya.ru)

THEORETICAL STUDY OF THE ORIGINATION PROCESS OF TENSION STATIC JUMP IN THE STOPPED CONVEYER BELT WHILE CHANGING ITS CONVEYANCE LENGTH

The propagation process of quasi-static wave of elastic strain in the stopped conveyer belt while changing its conveyance length is examined in the article. Dependence to determine a static jump belt tension which occurs in this case is presented. According to the studies, the diagram of changing of numeral value of static jump belt tension for the conveyer ILTP 80 is graphed depending on the speed of the mobile station and belt pretensioning.

Key words: belt conveyor, static jump tension, changing of the conveyance length, tensioner, quasi-static wave of elastic strain.