

УДК 621.867

А.В. Третьяк (инженер),
Донбасская национальная академия
строительства и архитектуры

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЖЕННОСТИ ЛЕНТЫ КОНВЕЙЕРА С ИЗМЕНЯЮЩЕЙСЯ ДЛИНОЙ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ В ПРОЦЕССЕ ЕГО УДЛИНЕНИЯ

В работе приведены конструкции стендов, методика и результаты экспериментальных исследований динамической нагруженности ленты конвейера во время изменения длины транспортирования. Установлено, что наиболее значимыми факторами, определяющими динамическую нагруженность ленты, являются: ускорение изменения длины транспортирования, скорость привода конвейера, натяжение ленты на выносном барабане.

Ключевые слова: конвейер, динамическая нагруженность, удлинение, волны упругой деформации, тензодатчик, реологическая характеристика.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

При использовании ленточных конвейеров, в технологических схемах, требующих перемещения точки загрузки, часто возникает необходимость изменения их длины. Опыт показывает, что изменение длины стационарного конвейера занимает до 30% рабочего времени при его удлинении и составляет около 20% объема ручных работ по его обслуживанию. Применение промежуточных перегружателей усложняет технологическую схему транспортирования и может снижать качество грузов. Поэтому одним из направлений повышения технического уровня конвейеров является создание ленточных конвейеров с изменяющейся длиной транспортирования (ЛКИД).

При удлинении такого конвейера имеют место волны упругой деформации ленты, вызывающие дополнительную кратковременную ее нагруженность [1], что отрицательно влияет на эффективность работы конвейера в целом. Так как при проектировании таких конвейеров, необходимо учитывать эту нагруженность, возникла необходимость в установлении закономерностей формирования этих нагрузок.

Анализ исследований и публикаций.

Много работ, связанных с изменением длины ленточных конвейеров были выполнены Донецким институтом комплексной механизации шахт «Донгипроуглемаш» [2]. Также обширные исследова-

ния в этом направлении проведены такими украинскими и зарубежными учеными: А.О. Спиваковским, В.А. Дьяковым, Л.Г. Шахмейстером, В.Г. Дмитриевым, Б.А. Кузнецовым, Б.Х. Белостоцким, Ю.А. Подопрigorой, А.В. Гаврюковым и др. Однако пока недостаточно изучены вопросы влияния распространения волн упругой деформации в ленте, с учетом ее реологических характеристик, на закономерности приращения натяжения ленты в процессе удлинения конвейера. Поэтому целью исследований является установление закономерностей формирования приращения натяжения ленты, с учетом ее реологических характеристик, при удлинении ЛКИД.

Постановка задач.

Для достижения поставленной цели в работе решались следующие задачи:

- разработать стенд и методику для определения реологических характеристик ленты. Экспериментально определить реологические характеристики используемых образцов ленты;

- разработать стенд и методику для экспериментального исследования динамической нагруженности ленты в процессе удлинения ЛКИД. Экспериментально установить закономерности формирования динамической нагруженности ленты такого конвейера в процессе его удлинения.

Изложение материала и результаты.

Для реализации первой задачи на кафедре ПТМ ДонНАСА был разработан и изготовлен стенд для определения реологических характеристик ленты. Схема и общий вид стенда для определения реологических характеристик используемой ленты представлены на (рис. 1).

Принцип работы таков. Образец ленты 1 зажимается между неподвижным зажимом 7 и подвижным 6, который перемещается парой винт-гайка 8, 9 при вращении электродвигателя 11, через редуктор 10. Управление электродвигателем осуществляется с помощью частотного преобразователя, благодаря которому можно изменять частоту и направление вращения двигателя, а следовательно, скорость и направление перемещения подвижного зажима.

Нагрузка на образец фиксируется тензометрическими датчиками усилия 5. Для удобства проведения эксперимента тензометрические датчики продублированы механическим динамометром 2. Удлинение образца регистрируется наклеенными на него тензометрическими датчиками деформации 4 и для наглядности дублируется микромет-

ром 3. Смонтирован стенд на металлической раме 12. На (рис. 2) приведена схема его системы измерения.

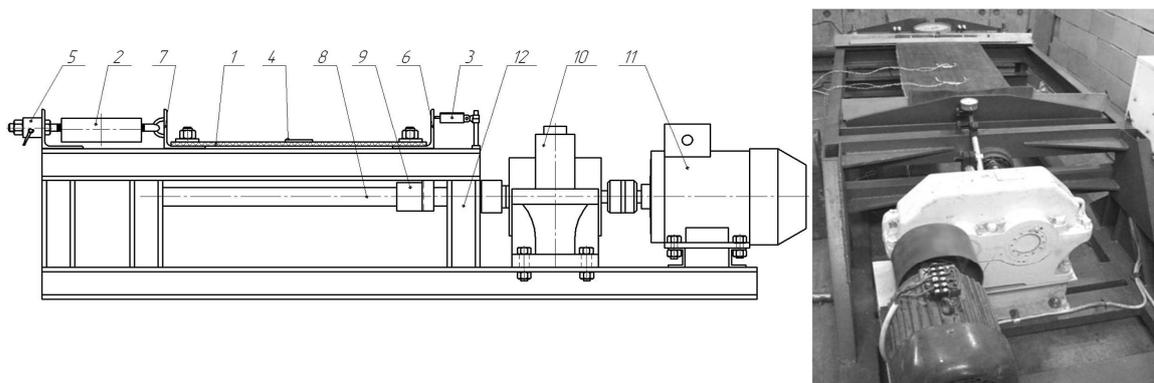


Рис. 1 – Схема и общий вид стенда для определения реологических характеристик ленты

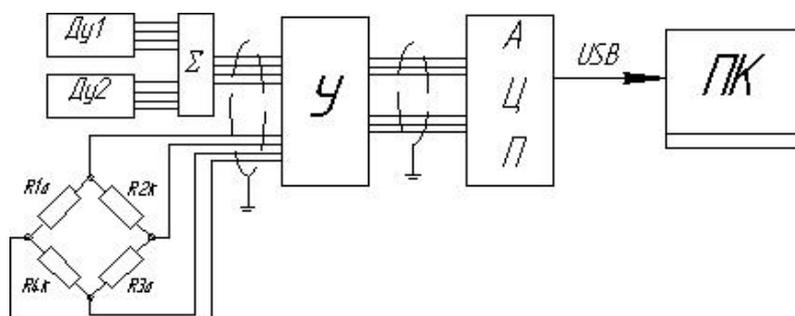


Рис. 2 – Схема системы измерения стенда для определения реологических характеристик ленты

В качестве датчиков деформации применены наклеиваемые проволочные тензорезисторы $R 1-4$. Датчики усилия $Ду1, Ду2$ применены CAS BSA-500L. При проведении эксперимента использовался четырехканальный инструментальный усилитель Texas Instruments, АЦП – NI USB-6009, программное обеспечение Power Graph 3.3Pro. Для управления электродвигателем использовался преобразователь частоты Frenic-Mini фирмы Fuji Electric.

Реологическая модель используемых лент принята в виде смешанной трехэлементной модели [3] и показана со схемой нагружения образца ленты на (рис. 3). Здесь E_1, E_2 – модуль упругости материала нитей ленты и модуль упругости обусловленный структурой ленты соответственно, η – вязкость ленты. Для определения характеристик принятой реологической модели ленты экспериментального конвейера были определены зависимости $\sigma=f(t)$ соответственно для $(\epsilon=const)$, $(\sigma=const)$, $(\dot{\epsilon}=const)$, $(\sigma'=const)$, а также $\epsilon=f(t)$ при $(\sigma=const)$ [3].

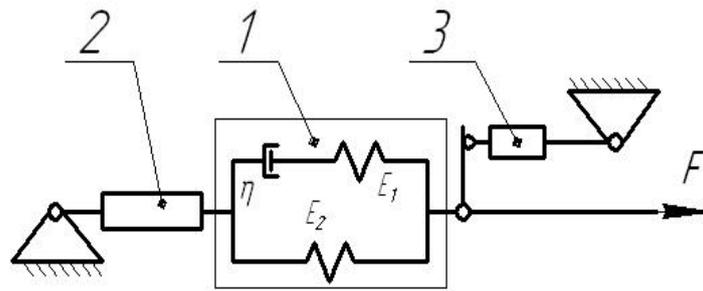


Рис. 3 – Принятая реологическая модель ленты и схема нагружения образца ленты

Испытания выполнялись при различных начальных и дополнительных натяжениях, скоростях приращения натяжения, без предварительной вытяжки и с предварительной вытяжкой прокладки напряжением 5 кг/см в течение 1 суток. Графики измерения реологических характеристик одного из образцов ленты показаны на (рис. 4). Мгновенно нагрузив ленту и замерив деформацию ε был определен модуль E_2 . При значительном времени нагружения была определена деформация ε_∞ и суммарный модуль упругости E_Σ . По зависимости (1) был определен модуль E_1 .

$$\varepsilon_\infty = \frac{\sigma(E_1 + E_2)}{E_1 + E_2} = \frac{\sigma}{E_\Sigma} \quad (1)$$

Из графика ползучести (рис. 4б) была определена постоянная релаксации τ . По известным модулям упругости и постоянной релаксации, из уравнения $\tau = \eta / E_\Sigma$. Была определена вязкость ленты η .

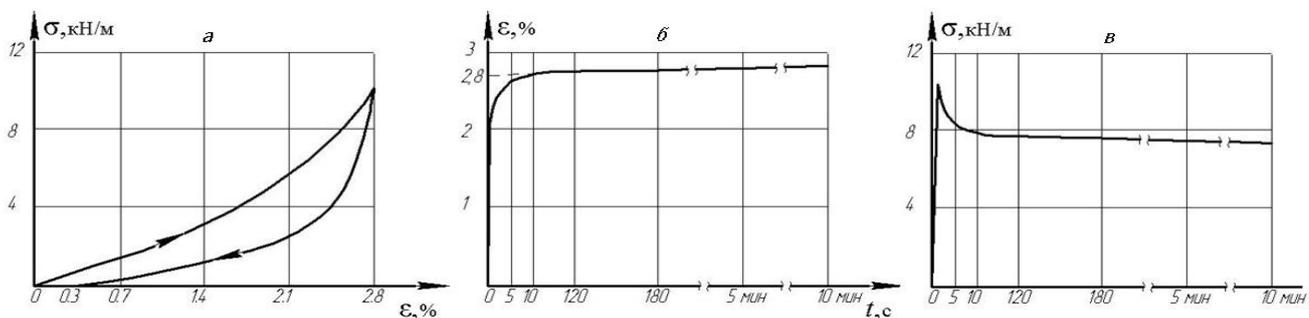


Рис. 4 – Графики реологических характеристик образца ленты
а – статического нагружения и разгружения ленты, б – график ползучести ленты, в – график релаксации ленты

По результатам обработки экспериментальных данных были определены и приведены в таблице 1 реологические характеристики используемых образцов лент.

Таблица 1 – Значения реологических характеристик используемых образцов лент

| № образца | Материал ленты | Число прокладок | Ширина м | E_1 , кН/м | E_2 , кН/м | Вязкость кН·с/м |
|-----------|----------------|-----------------|----------|--------------|--------------|-----------------|
| 1 | Резинотканевая | 1 | 0.4 | 200 | 37 | 9500 |
| 2 | Резинотканевая | 1 | 0.4 | 390 | 162 | 17000 |
| 3 | Резинотканевая | 2 | 0.4 | 730 | 310 | 18200 |
| 4 | Резинотканевая | 3 | 0.4 | 1280 | 570 | 22100 |

Для реализации второй задачи, исследования процесса удлинения ЛКИД, был разработан и изготовлен специальный стенд, схема и общий вид которого представлены на (рис. 5).

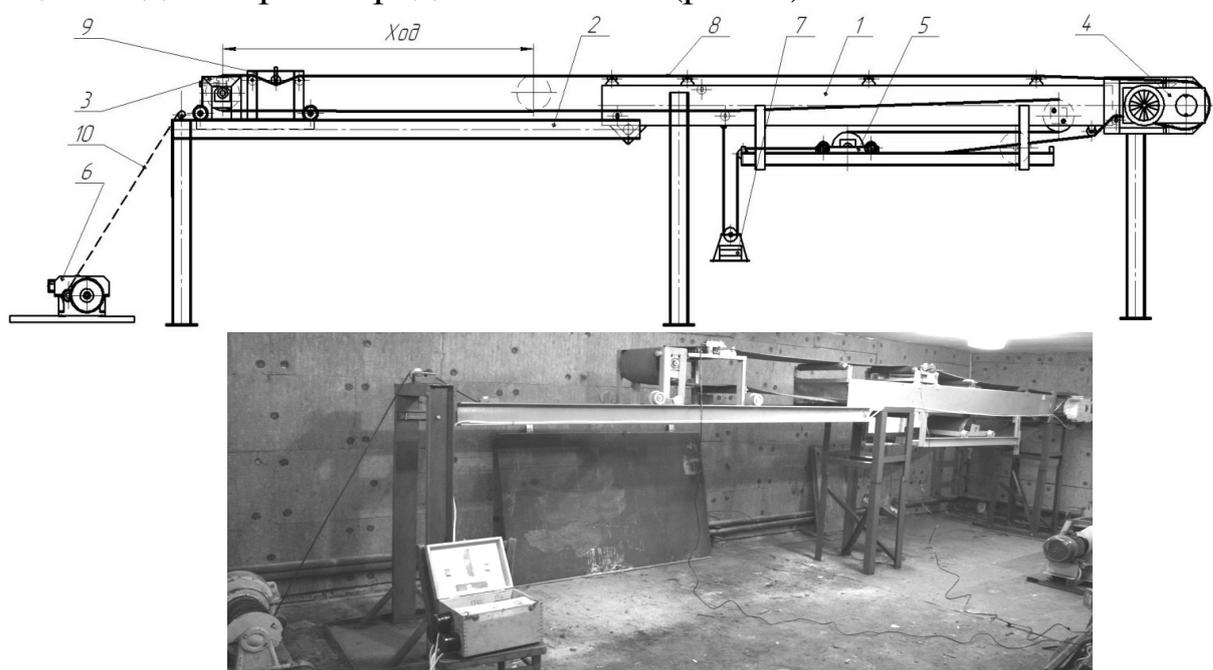


Рис. 5 – Схема и общий вид стенда конвейера с изменяющейся длиной транспортирования

Состоит стенд из двух шарнирно соединенных ставов 1 и 2, выносной передвижной станции 3, приводной головной станции 4, натяжной станции 5, лебедки изменения длины 6, грузов 7 для натяжения ленты 8, системы измерения натяжения ленты 9, каната 10, для перемещения концевой станции. Изменение длины происходит следующим образом. При включении лебедки 6 посредством канатной тяги 10 происходит изменение положения концевой станции 3 (удлинение, сокращение длины). Необходимый для этого запас ленты находится в грузовом натяжном устройстве 7.

Измерение натяжения ленты было выполнено методом отклоняющих роликов [4]. Для этого был изготовлен, протарирован и установлен на стенд специальный измерительный узел (рис. 6).

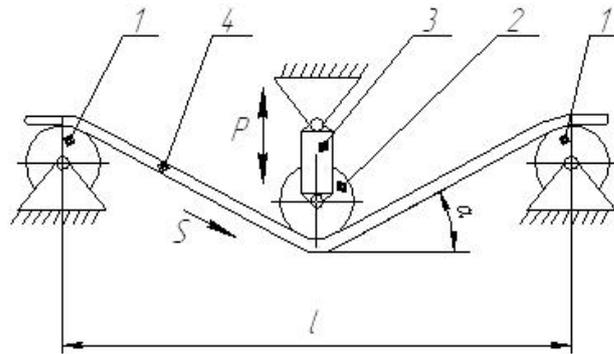


Рис. 6 – Схема узла измерения натяжения ленты

Узел состоит из поддерживающих роликов 1, отклоняющего (измерительного) ролика 2 и датчика усилия 3. Работает следующим образом: при движении ленты 4, ролики 1 вращаются на неподвижных осях. Ролик 2 вращается вокруг оси, закрепленной на датчике усилия 3 и передает ему составляющие P усилия натяжения ленты S . По замеренным усилию P и углу α из зависимости (2) определяется значение натяжения ленты

$$S = \frac{c}{\sin(\alpha)} \cdot U + \left(\frac{Q_P}{2 \sin(\alpha)} + Q_L \cdot \tan(\alpha) \right) \cdot g \quad (2)$$

где: c – чувствительность датчика (Н/В); α – угол перегиба ленты измерительным роликом (град); U – значение выходного напряжения датчика при приложении к нему определенного усилия (В); Q_P – вес измерительного ролика (кг); Q_L – вес ленты, приходящийся на измерительный ролик (кг); $g = 9,81$ (Н/м)

Для измерения скорости движения ленты и ускорения перемещения концевой станции использовались инкрементальные энкодеры Hohner AWI – 40. Для управления приводами стенда, (привод ленты, привод изменения длины) был смонтирован специальный блок из двух преобразователей частоты и пускателя, схема и внешний вид блока приведены на (рис. 7).

На рисунке $M1$ – электродвигатель привода ленты, $M2$ – электродвигатель лебедки, $M3$ – электродвигатель гидротолкателя тормоза лебедки. Инверторы использовались Omron J7 mini (ПЧ 1) и Frenic-Mini фирмы Fuji Electric (ПЧ 2). Система измерений аналогична системе, использованной в предыдущем эксперименте по определению реологических характеристик ленты.

Экспериментальные исследования проводились на основании анализа методов планирования [5, 6].

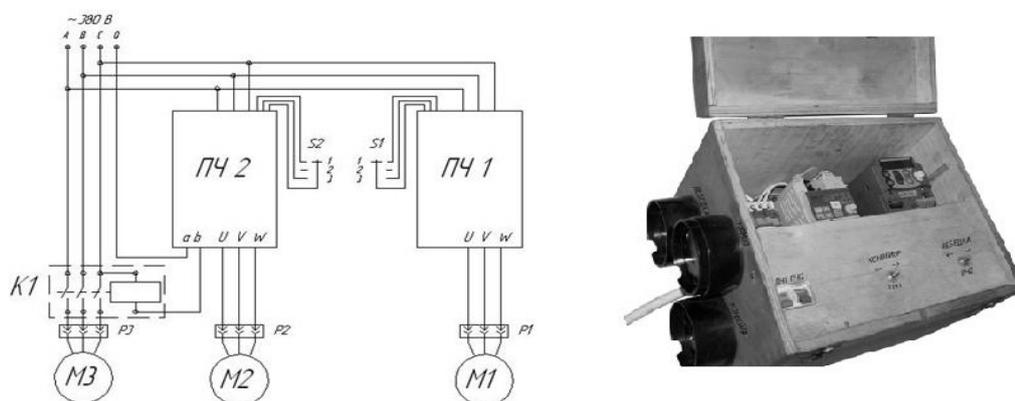


Рис. 7 – Схема и внешний вид блока управления приводами стенда конвейера

Выбранным методом являлся метод многофакторного планирования эксперимента, а именно рототабельный центральный план для 3-х факторов из 27 опытов с доверительной вероятностью 0,95 [5, 6]. Факторами принимались: ускорение перемещения концевой станции j (м/с^2), скорость привода конвейера v (м/с), масса грузов натяжного устройства G (кг). Функцией отклика принималось приращение натяжения ленты S (кН) при удлинении конвейера.

В качестве примера, на (рис. 8) приведены графики изменения величины натяжения ленты, полученные в процессе удлинения конвейера для двух случаев: привод конвейера остановлен, и привод конвейера работает с максимальной проектной скоростью.

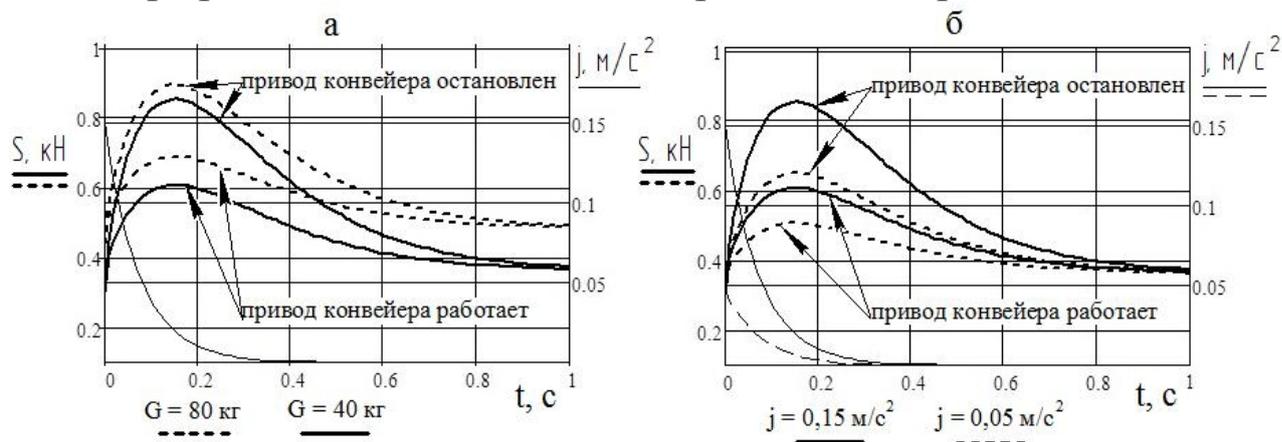


Рис. 8 – Графики изменения величины натяжения ленты конвейера для различных режимов работы привода конвейера в зависимости от массы грузов натяжного устройства (а) и ускорения перемещения концевой станции (б)

Графики получены при одинаковом ускорении ($0,15 \text{ м/с}^2$) перемещения концевой станции конвейера (рис. 8а) но различной массе грузов натяжного устройства (40 и 80 кг), и при различных ускорениях ($0,05$ и $0,15 \text{ м/с}^2$) но при одинаковой массе грузов (80 кг) натяжного устройства (рис. 8б).

Из анализа графиков (рис. 8) установлено, что при остановленном приводе конвейера динамическая нагруженность ленты в 2 и более раз выше, чем при работающем, увеличение ускорения перемещения станции и массы грузов приводит к увеличению динамической нагруженности ленты при удлинении ЛКИД.

В результате проведения и обработки эксперимента было получено и проверено на адекватность уравнение регрессии (3) (x_1 – ускорение концевой станции, x_2 – скорость ленты конвейера, x_3 – масса грузов натяжного устройства) и построены графические зависимости, приведенные на (рис. 9). Ошибка адекватности уравнения составила 4,6%.

$$s = 0,85 + 0,07x_1 - 0,148x_2 + 0,086x_3 - 0,039x_1x_2 + 0,07x_1x_3 - 0,008x_2x_3 - 0,031x_1x_2x_3 \quad (3)$$

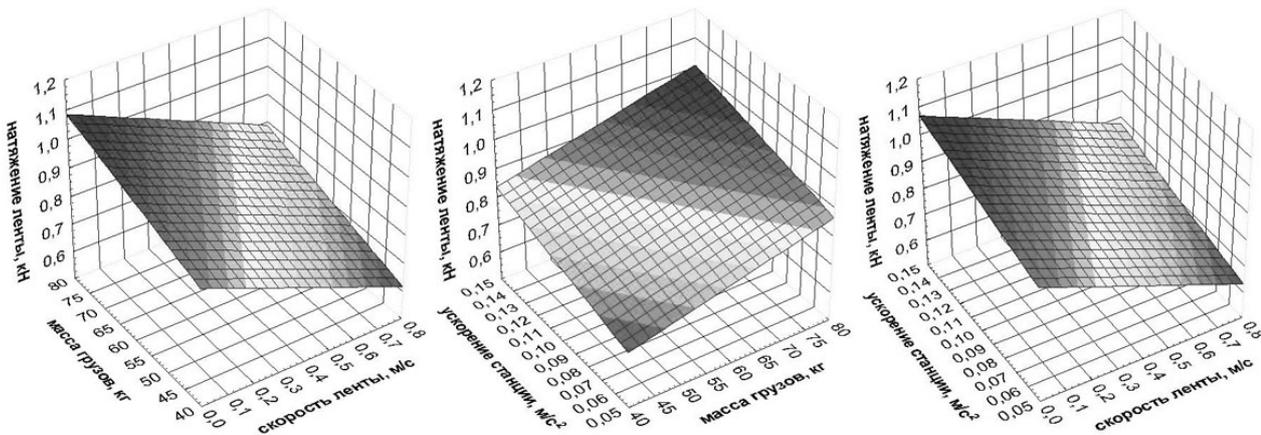


Рис. 9 – 3D-графические зависимости значения натяжения ленты конвейера при его удлинении от ускорения перемещения концевой станции, скорости привода конвейера, масса грузов натяжного устройства

Таким образом, проанализировав графики (рис. 9) можно сделать выводы, что самое неблагоприятное сочетание факторов для конвейера, когда задано максимальное ускорение удлинения, лента остановлена, максимальная статическая нагрузка ленты. Усилие в ленте достигло максимального значения, за время проведения экспе-

римента. Самыми оптимальными соотношениями факторов являются среднее (согласно плана) значение ускорения изменения длины и скорости движения ленты, минимальная статическая нагрузка ленты. Значение скачка натяжения в ленте было минимальным.

Выводы.

1. Разработанные в работе стенды и методики позволяют экспериментально определять реологические характеристики конвейерной ленты и исследовать динамическую нагруженность ленты ЛКИД в процессе его удлинения.

2. Экспериментально установлено влияние режима работы привода ленты ЛКИД, ускорения изменения длины транспортирования, натяжения ленты на выносном барабане на динамическую нагруженность ленты при удлинении конвейера:

- динамическая нагруженность ленты в процессе удлинения пропорциональна величине ускорения разгона привода изменения длины;

- динамическая нагруженность ленты в процессе удлинения пропорциональна величине натяжения ленты на выносном барабане.

- при остановленном приводе конвейера динамическая нагруженность ленты в 2 и более раз выше, чем при работающем;

3. Повышение технического уровня (производительности и надежности) ЛКИД обеспечивается изменением длины конвейера при работающем приводе конвейера за счет сокращения технологического времени на изменение длины и снижение динамической нагруженности ленты.

Список литературы

1. Гаврюков А.В. Теория и практика использования ленточных конвейеров, работающих при изменяющейся длине: монография / А.В.Гаврюков. – Макеевка: ДонНАСА, 2007. – 119 с.
2. Перегрузочный узел телескопического ленточного конвейера: А.С. 908671 СССР, МКИ В 65G 15/26, В 65G 41/02 / Вычигин А. Н., Белостоцкий Б.Х., Восполит Ю.В.; заявитель ГПКЭИКМШ "Донгипроуглемаш" – № 2967748/27 – 03; заявл. 28.07.80; опубл. 28.02.82, Бюл. № 8.
3. Гольберг И.И. Механическое поведение полимерных материалов / И.И. Гольберг. – М.: Химия, 1970. – 190 с.
4. Биличенко Н.Я. Эксплуатационные режимы ленточных конвейеров / Н.Я. Биличенко, Е.М. Высочин, Е.Х. Завгородний. – Киев.: Госгортехиздат УССР, 1964. – 263 с.
5. Винарский М.С. Планирование эксперимента в технологических исследованиях / М.С. Винарский, М.В. Лурье. – Киев.: Техника, 1975. – 167 с.
6. Шенк Х. Теория инженерного эксперимента / Х. Шенк. – М.: Мир, 1972. – 376 с.

Стаття надійшла до редакції 22.04.2013

А.В.Трет'як. Донбаська національна академія будівництва та архітектури, м. Макіївка

Дослідження динамічної навантаженості стрічки конвеєра зі змінною довжиною транспортування в процесі його подовження

В роботі наведені схеми стендів, методика і результати експериментальних досліджень динамічної навантаженості стрічки конвеєра під час зміни довжини транспортування. Встановлено, що найбільш важливими чинниками, що визначають динамічну навантаженість стрічки, є: прискорення зміни довжини транспортування, швидкість приводу конвеєра, натяг стрічки на виносному барабані.

Ключові слова: конвеєр, динамічна навантаженість, подовження, хвилі пружної деформації, тензодатчик, реологічна характеристика.

A.Tretiak, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Study of Dynamic Loading of the Conveyor Belt With Varying Transportation Length During its Extension

The paper provides the stand structures, methods and results of experimental investigations of conveyor belt dynamic loading during transportation length changing. It was found out that the most important factors determining the dynamic loading are: transportation length changing acceleration, belt drive speed, belt tension on the remote drum.

Keywords: conveyor, dynamic loading, elongation, elastic waves, strain gauge, rheological characteristic.