

УДК 621.867.1

С.Л. Назаревич, магистр
ЗАО «Донецксталь» - металлургический завод»

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА НАГРЕВА ЛЕНТЫ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ СКОРОСТИ ЕЕ ДВИЖЕНИЯ НА КОНВЕЙЕРЕ ТРАНСПОРТИРУЮЩЕМ ГОРЯЧИЕ ГРУЗЫ

Изложены материалы математического моделирования процесса нагрева и охлаждения конвейерной ленты при транспортировании горячих грузов, учитывающие конструктивные особенности и режимы эксплуатации для определения скоростей: минимальной полного прогрева и рациональной транспортирования. Разработана методика определения прогрева конвейерной ленты, при различной скорости транспортирования. Получена рациональная скорость транспортирования горячих грузов, при которой лента не будет подвержена повышенному тепловому износу.

математическая модель, нагрев, охлаждение, горячий груз, конвекция, неограниченная пластина, распределение температуры, минимальная скорость полного прогрева, рациональная скорость.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

В настоящее время транспорт ленточными конвейерами является одним из наиболее перспективных для различных отраслей промышленности. Широкое применение конвейерного транспорта в угольной, горнорудной, металлургической промышленности является одним из главных направлений технического прогресса. При многих технологических процессах в химической промышленности, на заводах по производству удобрений и строительных материалов, в металлургии, в литейных цехах, на коксохимических производствах и т. п. необходимо транспортировать промежуточную и готовую продукцию, имеющую высокую температуру.

Все возрастающая роль ленточных конвейеров обуславливает повышение требований к износу узлов и агрегатов, в числе которых одно из главных мест занимает износ конвейерной ленты при транспортировании различных грузов. В этом случае лента является наиболее дорогим и наименее долговечным элементом, тот от которого зависит эффективность работы ленточного конвейера. Причины разрушений при воздействии на ленту различных грузов, а в особенности горячих грузов, является важной промышленной проблемой. В связи с этим, возрастает потребность исследования теплового состояния конвейерной ленты при транспортировании горячих грузов.

Анализ исследований и публикаций. Большой вклад в исследование износа конвейерных лент при транспортировании горячих грузов, изучение теоретическими методами температурных полей, применение различных материалов при изготовлении теплостойких лент, внесли ученые: Б.В. Давыденко, Е.А. Мартишин, Н.В. Ананьев, и др. [1].

Испытания и исследования теплостойких лент при транспортировании различных горячих грузов проводились организациями и предприятиями, в числе которых: Криворожсталь, Коммунарским металлургическим комбинатом, Коммунарским коксохимическим заводом, Загорским филиалом научно-исследовательского института резиновой промышленности, Криворожским Южным горнообогатительным комбинатом, Череповецким металлургическим комбинатом.

Анализ публикаций показал, что в них проведен: анализ систем уравнений теплопроводности, конструкций, сравнительные эксплуатационные испытания теплостойких конвейерных лент и их характеристики. Только в работе Е.А. Мартишина, Н.В. Ананьева [1] приводится методика и результаты расчета температурных полей в конвейерной ленте при транспортировании горячих грузов с температурой от 100 до 250 °С.

Постановка задачи. На производстве в процессе транспортирования горячих грузов имеет место повышенный тепловой износ конвейерной ленты, как следствие быстрый выход их из строя. Определение режима транспортирования, при которой лента не будет прогреваться по всей толщине, позволит снизить износ и увеличить срок ее службы.

При решении данной задачи воспользуемся математической моделью [2], для получения распределения температуры конвейерной ленты при различных скоростях транспортирования горячих грузов, с целью определения минимальной скорости полного прогрева и рациональной скорости. Под минимальной скоростью полного прогрева в данной задаче понимают такую ее величину, при которой конвейерная лента прогреется по всей толщине за время одного цикла - нагрев-охлаждение. Транспортировка груза с минимальной скоростью полного прогрева и ниже ее приведет к повышенному тепловому износу.

Введем также понятие рациональной скорости движения конвейерной ленты, под которой понимается такая ее величина, при ко-

торой лента не прогревается по толщине, и при этом износ конвейерного става и энергопотребление минимально возможное.

Поэтому создание такой методики и дальнейшего исследования в этом направлении являются актуальными.

Изложение материала и результаты.

Транспорт тепла от горячего груза к конвейерной ленте, от конвейерной ленты в окружающую среду осуществляется по средствам теплопроводности и теплообмена. Теплоперенос охватывает совокупность всех явлений, состоящих в переходе некоторого количества тепла из одной части пространства в другую. Применительно к ленточному конвейеру передача и отдача тепла горячим грузом осуществляется двумя видами теплообмена [3]:

- нагрев ленты происходит посредством теплообмена, при которой передача тепла от одних частей тела к другим, обусловленная разностью температур без заметного перемещения частиц тела;

- охлаждение ленты на холостой ветви осуществляется конвективным теплообменом, путем теплообмена конвекцией. Конвективный теплообмен осуществляется перемещающимися в пространстве слоями жидкости или газа. Применительно к ленточному конвейеру перенос тепла осуществляется в результате перемещения слоев газообразной среды - воздуха.

Передача тепла теплопроводностью описывается законом Фурье [3]:

$$Q = -\lambda \frac{\partial t}{\partial x} \cdot F \cdot \tau, \text{ Дж.}$$

где λ - коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К); F - площадь сечения, через которое передается тепло, м²; τ - время, с; x - координаты по толщине ленты, м.

Количество тепла, которое передается при конвективном теплообмене, определяется законом Ньютона - Рихмана [3]:

$$Q = \alpha(t_1 - t_2) \cdot F \cdot \tau, \text{ Дж,}$$

где α - коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·К); t_1, t_2 - температура разных тел, °С; F - поверхность теплообмена, м²; τ - время, с.

Вопросы теории нагрева и охлаждения тел различной формы в теплофизике рассматривали ученые и исследователи: В.П. Исадченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел [4].

Рассмотрим процесс нагрева и охлаждения конвейерной ленты с помощью схемы приведенной в [5].

При решении поставленной задачи приняты следующие допущения:

1. Коэффициент теплоотдачи одинаков для всех точек поверхности ленты;
2. Изменение температуры происходит только в одном направлении x , в двух других направлениях температура не изменяется;
3. Охлаждение происходит в среде с постоянной температурой $T_{\text{с}} = \text{const}$.
4. На обеих поверхностях ленты отвод теплоты осуществляется при постоянном во времени коэффициенте теплоотдачи.
5. Ленту отождествляем с неограниченной пластиной, так как толщина значительно меньше ее длины и ширины;
6. Неограниченная пластина термически тонкая;
7. Нагрев происходит постоянным тепловым потоком.

Решение поставленной задачи примет вид [3]:

$$T(\tau) = \frac{q}{c\gamma R} \tau + T_0.$$

Удельную массу заменим через коэффициент материальной нагрузки k_1 :

$$d\tau = \frac{r_0 \rho c}{k_1 \alpha} \frac{dt}{(t_{\text{зр}} - t)}. \quad (1)$$

Проинтегрируем уравнение (1) по времени от $\tau_{\text{н}} = 0$ до $\tau_{\text{к}}$ и по температуре от $t_{\text{н}}$ до $t_{\text{к}}$ получим:

$$\tau_{\text{к}} = \frac{r_0 \rho c}{k_1 \alpha} \left[-\ln(t_{\text{зр}} - t) \right]_{t_{\text{н}}}^{t_{\text{к}}}, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (2)$$

тогда время нагрева ленты при грузе ветви примет вид:

$$\tau_{\text{к}} = \frac{r_0 \rho c}{k_1 \alpha} \ln \frac{t_{\text{зр}} - t_{\text{н}}}{t_{\text{зр}} - t_{\text{к}}}, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (3)$$

температура нагрева ленты на грузе ветви:

$$t_{\text{к.наг.}} = t_{\text{зр}} - \frac{t_{\text{зр}} - t_{\text{к.ох.}}}{\frac{\tau \cdot k_1 \cdot \alpha}{e^{r_0 \cdot \rho \cdot c}}}, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (4)$$

а ее охлаждения на порожней ветви:

$$t_{\text{к.ох.}} = \frac{(t_{\text{к.наг.}} - t_{\text{н}}) \cdot F \cdot \tau}{\left(\frac{r_0}{\lambda} + \frac{1}{\alpha}\right) \cdot m \cdot c}, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (5)$$

где k_1 - коэффициентом материальной нагрузки; r_0 - толщиной ленты (м); c - теплоемкость (Дж/(кг·К)); F - площадь нагрева-охлаждения (м²); m - масса конвейерной ленты на грузенной и порожней ветви (кг); α - коэффициент теплоотдачи (Вт/(м²/град); λ - коэффициент теплопроводности (Вт/(м·К)); ρ - плотность ленты (кг/м³); t_n - температура в начальный момент времени (°С); t_{gp} - температура горячего груза (°С).

На основании полученных зависимостей, с учетом исходных данных необходимых для решения конкретной задачи, получаем температурную диаграмму рис. 1 [2].

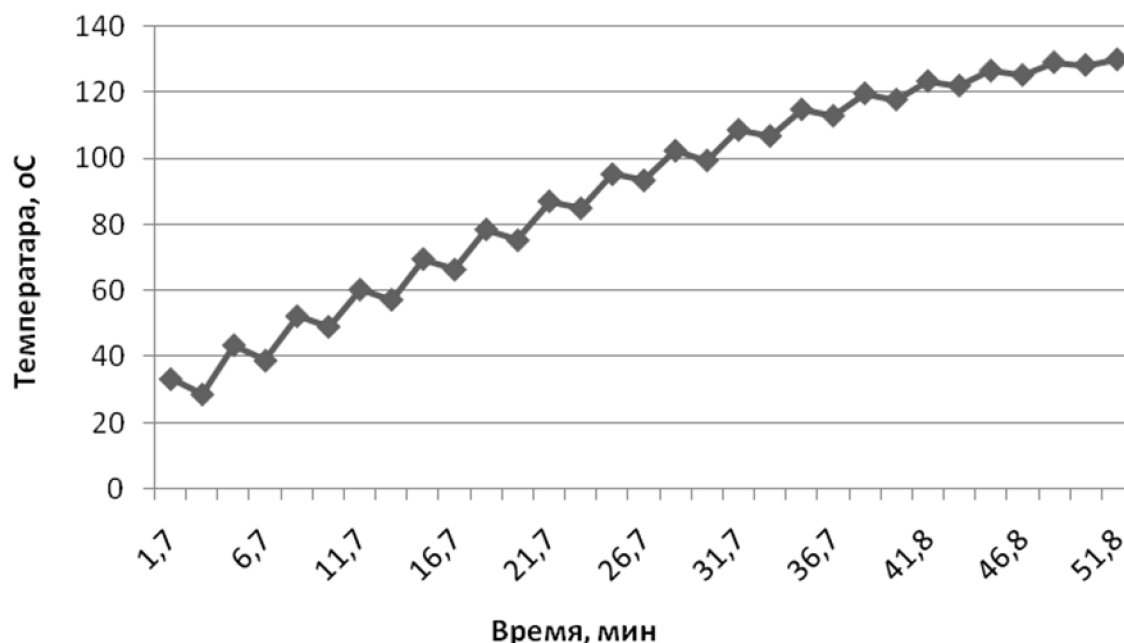


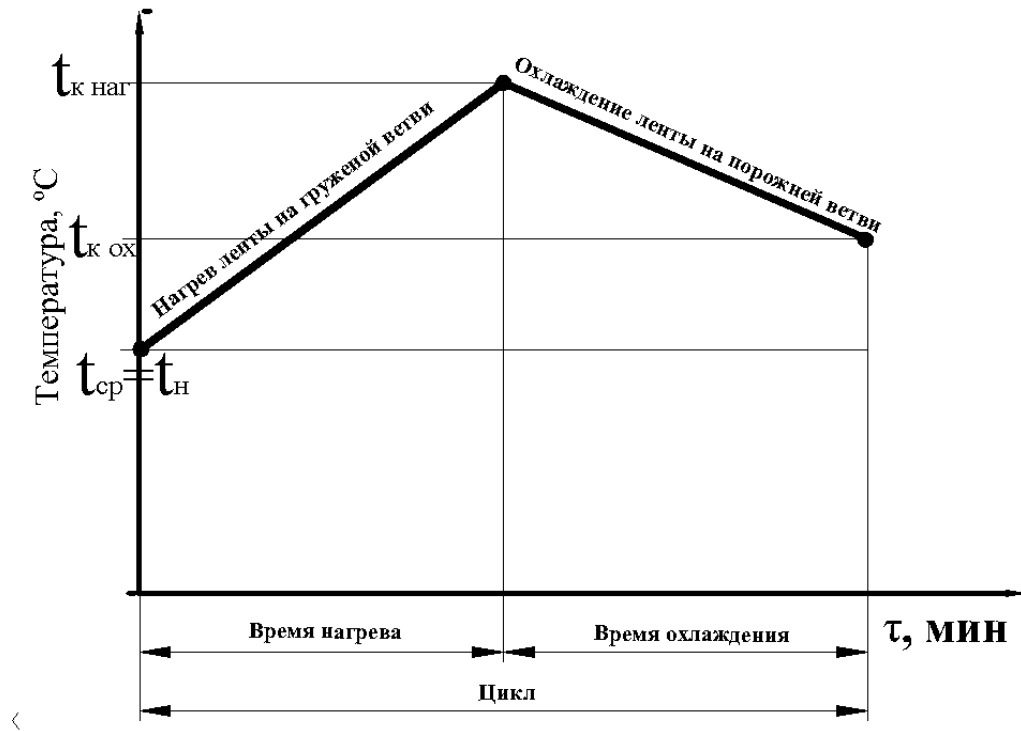
Рис. 1 – Температурная диаграмма нагрева и охлаждения конвейерной ленты при транспортировании горячих грузов

Фактически температура ленты повышается при движении на грузенной ветви и понижается на порожней ветви. Изменение температуры ленты за один цикл приведен на рис. 2.

Используя математическую модель, получаем зависимость скорости ленты от температуры нагрева ее по толщине. Скорость ленты, при которой она прогреется по толщине за один цикл, а также значение, которое соответствует рациональному режиму транспортирования с минимальным тепловым износом, и минимально возможным износом конвейерного става и энергопотреблением.

Расчеты выполним для следующих исходных данных при различных температурах груза: $k_1=1$, $r_0=0,02$ м, $\rho=1200$ кг/м³,

$c = 1380$ Дж/(кг·К), $\alpha = 20$ Вт/(м²·К), $t_{zp} = 80; 100; 120$ °С, $t_n = 20$ °С, $L = 200$ м, $F = 160$ м², $m = 2400$ (кг), $\lambda = 0,37$ (Вт/(м·К)), $V_{л} = 0,2 \dots 5$ м/с, $C_{л} = 400$, $\gamma = 0,56$ т/м³. Так как в принятых допущениях нагрев ленты происходит постоянным тепловым потоком погонную нагрузку ленты, будем считать постоянной величиной.



$t_{к.наг}$ - температура нагрева на грузной ветви; $t_{к.ох}$ - температура охлаждения на порожней ветви; $t_{ср}$ - температура окружающей среды; t_n - начальная температура конвейерной ленты

Рис. 2 - Нагрева и охлаждения конвейерной ленты при транспортировании горячих грузов в начальный момент времени

Результаты исследования в данной задаче по (4) и (5) приведены на рис. 3.

Расчеты выполнены для различных температур груза 80°С, 100°С, 120°С. Из результатов исследований приведенных на рис.3, следует что: минимальные скорости полного прогрева за один цикл которые составляют: 0,2 м/с; 0,3 м/с; 0,4 м/с, рациональные скорости движения ленты равны: 3,2 м/с; 3,8 м/с; 4,3 м/с. Работа установки в данном режиме позволит транспортировать горячие грузы с минимальным тепловым износом и минимально возможными механическими разрушениями конвейерного става.

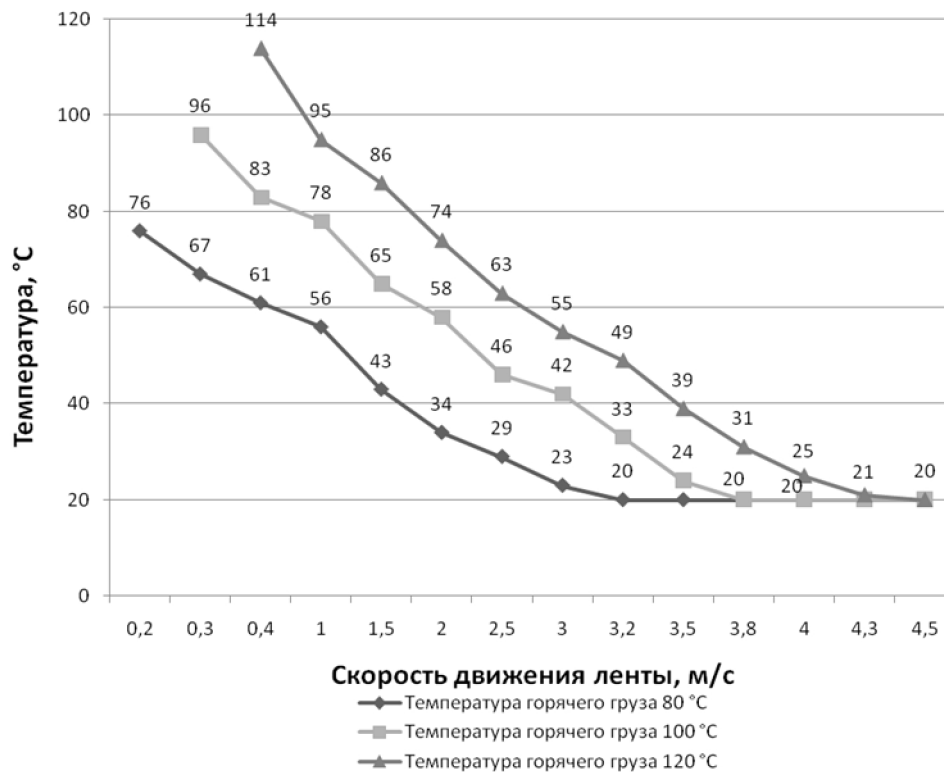


Рис. 3 - Зависимость температуры прогрева от скорости движения конвейерной ленты

Выводы и направления дальнейших исследований.

Данная методика нахождения рациональной скорости ленты и минимальной скорости полного прогрева, позволяет обосновать работу конвейера в зависимости от температуры транспортируемого груза, при котором не произойдет перегрев ленты в режиме с минимально возможным износом конвейерного става и минимальным возможным энергопотреблением установки. Эксплуатация ленточного конвейера в таком режиме позволит снизить износ и увеличить срок службы конвейерной ленты и установки в целом, тем самым снизив аварийность и уменьшив затраты на приобретение дорогостоящих теплостойких лент.

Разработка методики позволяющей получить распределение температуры по толщине конвейерной ленты при различной скорости при переменном тепловом потоке с учетом различной погонной нагрузки является направлением дальнейших исследований.

Список источников:

1. Мартишин Е.А. Влияние теплофизических свойств элементов конвейерной ленты на ее тепловое состояние при транспортировании горячих грузов / Е.А. Мартишин, Н.В. Ананьев // Каучук и резина. – 1983. – №11. – С. 29-32.

2. Назаревич С. Л. Математическая модель сложного теплообмена горячего груза с конвейерной лентой при ее движении / С. Л. Назаревич, С. В. Палкина, А.Я. Грудачев // Наукові праці ДонНТУ. Серія гірничо-електромеханічна. – 2006. – Вип. 12 (113). - С.199-203.
3. Гинкул С.И. Вопросы тепло- и массопереноса в материалах, нагрева и охлаждения металла: учебное пособие / С.И. Гинкул, В.И. Шелудченко, В.В. Кравцов. – Донецк:РИА ДонГТУ, 2000. - 162 с.
4. Исаченко В.П. Теплопередача: учебник для вузов / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. – М.: Энергоиздат, 1981.- 416 с.
5. Назаревич С.Л. Обоснование критической скорости движения конвейерной ленты при заданном объеме транспортирования горячих грузов / С.Л. Назаревич, А.Н. Лебедев, А.Я. Грудачев, канд. техн. наук, проф. // Наукові праці ДонНТУ. Серія гірничо - електромеханічна. - 2010. - Вип. 18(172). - С.219-225.

Стаття надійшла до редколегії 27.04.2011

Рецензент: зав. каф. «Технічна теплофізика» ДонНТУ, д-р техн. наук, проф. В.В. Кравцов

С.Л. Назаревич. Дослідження процесу нагріву стрічки при зміні швидкості її руху на конвеєрі, що транспортує гарячі вантажі. Викладено матеріали математичного моделювання процесу нагрівання та охолодження конвеєрної стрічки при транспортуванні гарячих вантажів, що враховують конструктивні особливості і режими експлуатації для визначення швидкостей: мінімальної повного прогріву і раціональної транспортування. Розроблено методику визначення прогріву конвеєрної стрічки, при різній швидкості транспортування. Отримана раціональна швидкість транспортування гарячих вантажів, при якій стрічка не буде піддаватись підвищеному тепловому зносу.

математична модель, нагрів, охолодження, гарячий вантаж, конвекція, необмежена пластина, розподіл температури, мінімальна швидкість повного прогріву, раціональна швидкість.

S. Nazarevich. Investigation of heating tape when the speed of its movement on a conveyor belt transporting hot goods. The materials for mathematical modeling of heating and cooling conveyor belt during transportation of hot goods, taking into account the structural features and re-presses operation To determine the velocity: the minimum full warm and rational transportation. Designed metal-using the technique definition warm conveyor belt at various speeds of transportation. The rationality of the rate of transportation of hot goods, in which the tape will not be exposed to increased thermal wear.

mathematical model, heating, cooling, hot load, convection, an infinite plate, the temperature distribution, the minimum speed a full warm-up, good speed.

© Назаревич С.Л., 2011