

УДК 621.867.1

С.Л. Назаревич, магистр,
ЗАО «Донецксталь» - металлургический завод»
А.Я. Грудачев, канд. техн. наук, проф.,
А.Н. Лебедев, канд. техн. наук, доц.
Донецкий национальный технический университет

ОБОСНОВАНИЕ КРИТИЧЕСКОЙ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ КОНВЕЙЕРНОЙ ЛЕНТЫ ПРИ ЗАДАННОМ ОБЪЕМЕ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ГОРЯЧИХ ГРУЗОВ

Изложен метод исследования процесса нагрева и охлаждения конвейерной ленты при транспортировании горячих грузов, учитывающий скорость ее движения и заданный объем груза. Разработана методика определения критической скорости движения ленты для транспортировки порции горячего груза с целью исключения ее нагрева выше допустимых температур.

математическая модель, нагрев, горячий груз, охлаждение, критическая скорость ленты, теплопередача, конвекция, неограниченная пластина, распределение температуры

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

В ряде технологических процессах в химической промышленности, в металлургии, коксохимических, горно-обогатительных производствах и т. п. необходимо транспортировать горячие грузы ленточными конвейерами имеющие высокую температуру. В рекламных источниках, предлагаются типы теплостойких конвейерных лент, в которых указано возможность кратковременной транспортировки горячих грузов, если их температура выше допустимой температуры конвейерной ленты, но при этом не указывается времени эксплуатации в таких условиях. Проблема транспортирования горячих грузов и разработка методик определения рациональных параметров режима эксплуатации установок и эксплуатация конвейерных лент с более низкой стоимостью, является важной практической задачей.

Анализ исследований и публикаций. 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. В работе [2] приведена математическая модель нагрева конвейерной ленты горячим грузом с помощью которой можно построить температурную диаграмму нагрева и охлаждения ленты.

Постановка задачі. С помощью математической модели [2] получить распределения температуры конвейерной ленты при транспортировании горячих грузов с целью определения ее критической скорости движения. Под критической скоростью движения конвейерной ленты в данной задаче понимают минимальную скорость, при которой температура ленты не превысит допустимую и при этом заданный объем груза будет перемещен. Транспортировка груза со скоростью ленты ниже критической приведет к нагреву ленты выше ее допустимой температуры и как следствие к повышенному износу. Определение критической скорости, позволит обосновать конструкцию за счет выбора скорости транспортирования и снизит затраты на приобретение конвейерных лент. Как правило, на производстве транспортирование горячего груза осуществляется циклически, что связано с технологией его подготовки и режим транспортирование-пауза характерен для таких условий. Поэтому создание такой методики и дальнейшее исследования в этом направлении являются актуальными.

Изложение материала и результаты.

Понятие теплопереноса 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 [2]:

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

- конвективным теплообменом, при котором происходит охлаждение ленты на холостой ветви, 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 [3].

Рассмотрим процесс нагрева и охлаждения конвейерной ленты (рис.1).

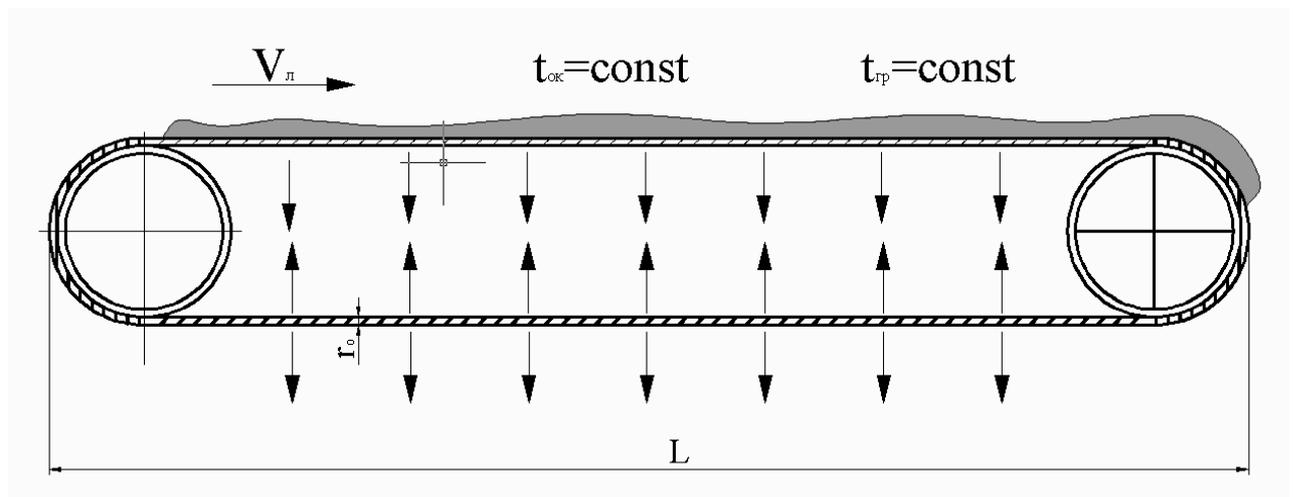


Рисунок 1. - Схема нагрева и охлаждения конвейерной ленты при транспортировании горячих грузов

На рис.1 приняты следующие обозначения:

$V_{л}$ - скорость движения конвейерной ленты;

r_0 – толщина конвейерной ленты;

L – длина ленточного конвейера;

$t_{ок}$ - температура окружающей среды;

$t_{гр}$ – температура груза.

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 $T_g = const$.

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 [4]:

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

Удельную массу заменим через коэффициент материальной нагрузки k_1 :

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

Проинтегрируем уравнение (1) по времени от $\tau_n = 0$ до τ_k и по температуре от t_n до t_k получим:

$$\tau_k = \frac{r_0 \rho c}{k_1 \alpha} \left[-\ln(t_{zp} - t) \right]_{t_n}^{t_k}, \quad ^\circ\text{C}, \quad (2)$$

тогда время нагрева ленты при грузе ветви примет вид:

$$\tau_k = \frac{r_0 \rho c}{k_1 \alpha} \ln \frac{t_{zp} - t_n}{t_{zp} - t_k}, \quad ^\circ\text{C}, \quad (3)$$

температура нагрева ленты на грузе ветви:

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

а ее охлаждения на порожней ветви:

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

где k_1 - коэффициент материальной нагрузки; r_0 - толщина ленты (м); c - теплоемкость (Дж/(кг·К)); F - площадь нагрева-охлаждения (м²); m - масса конвейерной ленты на грузе ветви 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_{cp} - температура горячего груза (°С).

Производительность конвейера [5]:

$$Q = (C_{л} \cdot B^2 \cdot V_{л} \cdot \gamma) / 60, \text{ т/мин}, \quad (6)$$

где $C_{л}$ – коэффициент лотковости; γ – плотность груза (т/м³);
 B – ширина ленты (м); $V_{л}$ – скорость ленты (м/с);

Время транспортировки горячего груза:

$$\tau = M/Q, \text{ мин}$$

где M – масса груза необходимого для транспортировки.

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

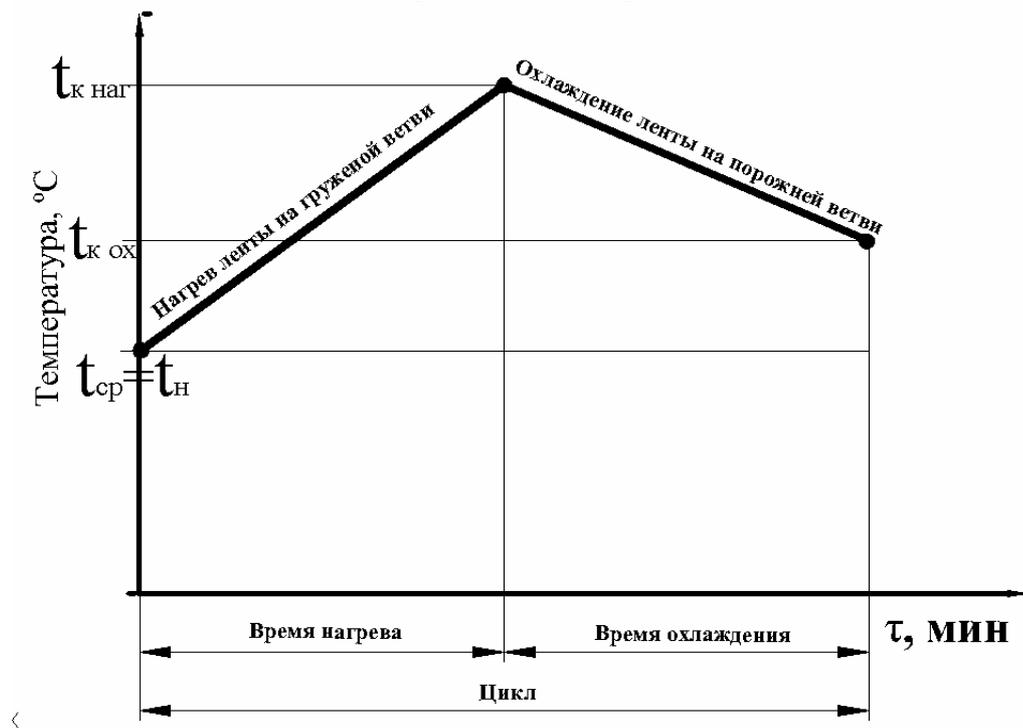


Рисунок 2. - Нагрева и охлаждения конвейерной ленты при транспортировании горячих грузов в начальный момент времени

Результаты исследования по (4), (5) и (6) приведены на рис.3, для следующих исходных данных: $k_1=1$, $r_0=0,02$ м, $\rho=1200$ кг/м³, $c=1380$ Дж/(кг·К), $\alpha=20$ Вт/(м²·К), $t_{cp}=100$ °С, $t_n=20$ °С, $L=100$ м, $F=80$ м², $m=2400$ (кг), $\lambda=0,37$ (Вт/(м·К)), $V_{л}=2$ м/с, $C_{л}=400$, $\gamma=0,56$ т/м³, $M=800$ тонн, $B=1$ м. Время одного цикла нагрев-охлаждение конвейерной ленты составляет 3,34 мин.

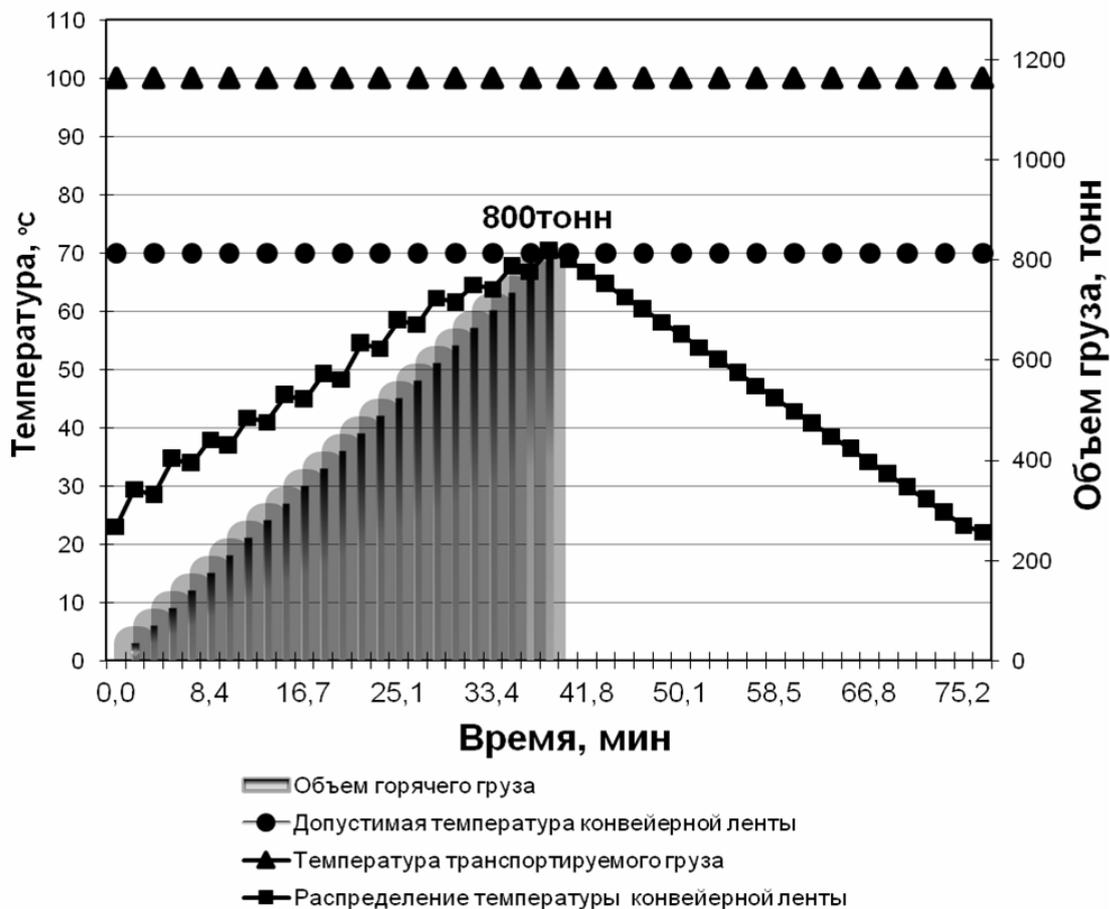


Рисунок 3. - Зависимость распределения температуры конвеєрної ленти при транспортуванні порції горячого груза

В результате исследования приведенного на рис. 3, следует что при заданной порции груза 800 тонн, минимальная скорость при которой лента успеет нагреться до допустимой температуры, равна 2 м/с, таким образом, в данной задаче обоснована возможность для транспортировки груза с температурой 100 °C, применить ленту с допустимой температурой 70 °C, при этом лента будет иметь меньшую стоимость. Время подачи горячего груза составило 38,4 мин, за которое температура ленты достигла допустимой, далее конвеєр будет работать без груза, при этом происходит охлаждение ленты до температуры окружающей среды, в данном примере время составило 36 мин, после чего можно осуществлять подачу следующей порции. Выше указанная методика позволяет определить критическую скорость движения ленты для других исходных данных.

Выводы и направления дальнейших исследований.

Из вышеизложенного следует, нахождение критической скорости ленты обосновывает целесообразность работы конвеєра в периодическом режиме, при котором, максимальная погонная нагрузка чередуется с нагрузкой равной 0, такой режим характерен для произ-

водств, где осуществляется перемещение горячих материалов. Нагрев ленты в этом случае не превысит допустимой температуры, что снизит затраты на приобретение дорогостоящих теплостойких лент.

Разработка методики позволяющей получить распределение температуры по толщине конвейерной ленты за время транспортировки с целью определения критической скорости и толщины рабочей обкладки, является целью дальнейших исследований.

Список источников:

1. Мартишин Е.А., Ананьев Н.В. Влияние теплофизических свойств элементов конвейерной ленты на ее тепловое состояние при транспортировании горячих грузов. – Каучук и резина, 1983, №11, с. 29-32.
2. Назаревич С. Л., магистрант, Палкина С. В., ассистент, Грудачев А.Я., канд. техн. наук, проф. Математическая модель сложного теплообмена горячего груза с конвейерной лентой при ее движении. - Наукові праці ДонНТУ. Випуск 12 (113), серія гірничо-електромеханічна.- Донецьк: ДонНТУ, 2006, С.199-203.
3. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача: Учебник для вузов. – М.: Энергоиздат, 1981.- 416 с.
4. Гинкул С.И., Шелудченко В.И., Кравцов В.В. Вопросы тепло- и массопереноса в материалах, нагрева и охлаждения металла. Учебное пособие – Донецк:РИА ДонГТУ, 2000.- 162 с.
5. Спиваковский А. О., Дмитриев В. Г., Теория ленточных конвейеров. – М.: Наука, 1982.

С.Л.Назаревич, А.Я.Грудачев, А.Н.Лебедев. Обґрунтування критичної швидкості руху конвеєрної стрічки при заданому обсязі транспортування гарячих вантажів. Викладено метод дослідження процесу нагрівання й охолодження конвеєрної стрічки при транспортуванні гарячих вантажів, що враховують швидкість її руху й заданий обсяг вантажу. Розроблено методику визначення критичної швидкості руху стрічки для транспортування порції гарячого вантажу з метою виключення її нагрівання вище припустимих температур.

математична модель, нагрівання, гарячий вантаж, охолодження, критична швидкість стрічки, теплопередача, конвекція, необмежена пластина, розподіл температури

S.Nazarevich, A. Grudachev, A. Lebedev. Justification of the critical speed of conveyor belt for a given volume of transportation of hot goods. A method for studying the process of heating and cooling conveyor belt for transportation of hot goods, taking into account the speed of its movement and the specified amount of cargo. A method of determining the critical velocity of the belt for transporting a hot load in order to avoid heating it above the allowable temperature.

mathematical model, heating, hot load, cooling, the critical belt speed, heat transfer, convection, unbounded plate, the temperature distribution

Стаття надійшла до редколегії 10.09.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.В. Кравцов

© С.Л.Назаревич, А.Я.Грудачев, А.Н.Лебедев, 2010