

УДК 621.867.1/6:536.24

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СЛОЖНОГО ТЕПЛООБМЕНА ГОРЯЧЕГО ГРУЗА С КОНВЕЙЕРНОЙ ЛЕНТОЙ ПРИ ЕЕ ДВИЖЕНИИ

Назаревич С. Л., магистрант, Палкина С. В., ассистент,

Грудачев А.Я., канд. техн. наук, проф.

Донецкий национальный технический университет

Получена на основе теории теплопроводности математическая модель сложного теплообмена горячего груза с конвейерной лентой, при ее движении, учитывающая конструктивные особенности и режимы эксплуатации.

The mathematical model of difficult heat exchange of hot load is got on the basis of theory of heat conductivity, with a conveyer ribbon at its motion taking into account structural features and modes of exploitation.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

В ряде технологических процессах в химической промышленности, в металлургии, коксохимических производствах и т. п. необходимо транспортировать горячие грузы ленточными конвейерами имеющие высокую температуру. В рекламных источниках, предлагают типы теплостойких конвейерных лент, в которых приводятся значения их максимальной температуры эксплуатации, при этом отсутствует прогноз срока их службы при различных условиях. Проблема транспортирования горячих грузов и разработка теории протекающих при этом тепловых процессов является важной практической задачей.

Анализ исследований и публикаций. Обзор литературы показал, что в основном проведен анализ конструкций, системы уравнений теплопроводности, сравнительные эксплуатационные испытания теплостойких конвейерных лент и их характеристики. Вопрос расчета нагрева ленты в процессе эксплуатации рассмотрен недостаточно. 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. Математической модели по нагреву и анализу состояния ленты нет, что не позволяет решать возникающие на производстве практические и теоретические задачи. Поэтому создание такой математической модели и дальнейшее исследования в этом направлении являются актуальны.

Постановка задачі. Розробка математическої моделі теплового стану конвейерної ленти при транспортуванні гарячих вантажів, враховуючої конструктивні особливості та режими експлуатації установки, що дозволить знайти методи та засоби для збільшення терміну її служби.

Изложение материала и результаты. Вопросы теории нагрева и охлаждения тел различной формы в теплофизике рассматривали В.П. Исадченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел, А. В. Лыков [2-4].

Рассмотрим процесс нагрева пластины. Если число подобия [2]

$$Bi = \frac{\alpha \cdot r_0}{\lambda} \rightarrow 0, \text{ тело термически тонкое.}$$

Дифференциальное уравнение теплопроводности при отсутствии внутренних источников теплоты имеет вид [2]

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right), \quad (1)$$

где t – температура, x, y, z – свободные координаты в пространстве, a – коэффициент температуропроводности.

Дифференциальное уравнение теплопроводности (1) дает законченную математическую формулировку.

$$t = f(x, y, z, \tau, \alpha, a, t_0, t_2, l_0, l_1, \dots, l_n), \quad (2)$$

где τ – время нагрева, α – коэффициент теплоотдачи, t_0 – температура окружающей среды, t_2 – температура нагрева, l_0, l_1, \dots, l_n – толщина прогрева.

Рассмотрим процесс нагрева и охлаждения конвейерной ленты.

Граничные условия:

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

$$\left(\frac{\partial T}{\partial y} = \frac{\partial T}{\partial z} = 0 \right).$$

3. Охлаждение происходит в среде с постоянной температурой $T_0 = const$.

На обеих поверхностях ленты отвод теплоты осуществляется при постоянном во времени коэффициенте теплоотдачи.

При решении поставленной задачи приняты следующие допущения:

1. Ленту отождествляем с неограниченной пластиной, так как толщина значительно меньше ее длины и ширины;

2. Нагрев происходит постоянным тепловым потоком.

Для одномерного пространства, дифференциальное уравнение теплопроводности [1] принимает вид

$$\frac{\partial T(x, \tau)}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 T(x, \tau)}{\partial x^2}. \quad (3)$$

Для решения задачи вводим новую переменную $q(x, \tau)$. Тогда

$$\frac{\partial q(x, \tau)}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 q(x, \tau)}{\partial x^2}.$$

Температурное поле определяется по формуле

$$T(x, \tau) = \frac{1}{\lambda} \int q(x, \tau) dx + \varphi(\tau) + C,$$

где $\varphi(\tau)$ – некоторая функция от времени, C — постоянная.

$\bar{T}(\tau)$ – средняя температура конвейерной ленты, определяемая по формуле

$$T(\tau) = \frac{1}{R_0} \int T(x, \tau) dx.$$

Решение нашей задачи примет вид

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

Для получения решения уравнения теплопроводности зададим исходные данные:

- геометрические условия: форма тела задается коэффициентом материальной нагрузки k_1 ;
- размер тела: толщиной прогреваемого слоя r_0 (м);
- физические условия: физические свойства тела теплоемкость C (Дж/(кг·К)), средний коэффициент теплоотдачи α (Вт/(м²·К)), плотность тела ρ (кг/м³);
- начальные условия: в начальный момент времени $\tau = 0$ температура равна t_n , температура горячего груза t_{zp} ;

Удельный тепловой поток определяется из условий конвективного теплообмена

$$q = \alpha(t_{zp} - t_k), \quad (4)$$

За элементарное время $d\tau$ температура ленты изменится на величину dt

$$qF d\tau = mc dt$$

тогда

$$d\tau = \frac{mc}{qF} dt.$$

Теплообмен между горячим грузом и лентой осуществляется по конвективной формуле (4).

Удельную массу заменим через коэффициент материальной нагрузки k_1

$$d\tau = \frac{r_0 \rho c}{k_1 \alpha} \frac{dt}{(t_{zp} - t)}. \quad (5)$$

Проинтегрируем уравнение (5) по времени от $\tau_n = 0$ до τ_k и по температуре от t_n до t_k получим

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

тогда время нагрева ленты при грузе ветви примет вид

$$\tau_k = \frac{r_0 \rho c}{k_1 \alpha} \ln \frac{t_{zp} - t_n}{t_{zp} - t_k}, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (6)$$

нагрев ленты по толщине на грузе ветви

$$t_{k.наг.} = t_{zp} - \frac{t_{zp} - t_n}{\frac{\tau \cdot k_1 \cdot \alpha}{e^{r_0 \cdot \rho \cdot c}}}, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (7)$$

а ее охлаждения по толщине на порожней ветви

$$t_{k.ох} = \frac{t_n}{\frac{\tau \cdot k_1 \cdot \alpha}{e^{r_0 \cdot \rho \cdot c}}}, \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (8)$$

Для исходных данных: $K_1=1$, $r_0=0,02$ м, $\rho=1200$ кг/м³, $C=1380$ Дж/(кг·К), $\alpha=20$ Вт/(м²·К), $t_{zp}=100^\circ\text{C}$, $t_n=20^\circ\text{C}$. Результаты исследования по (7) и (8) приведены на рис.1.

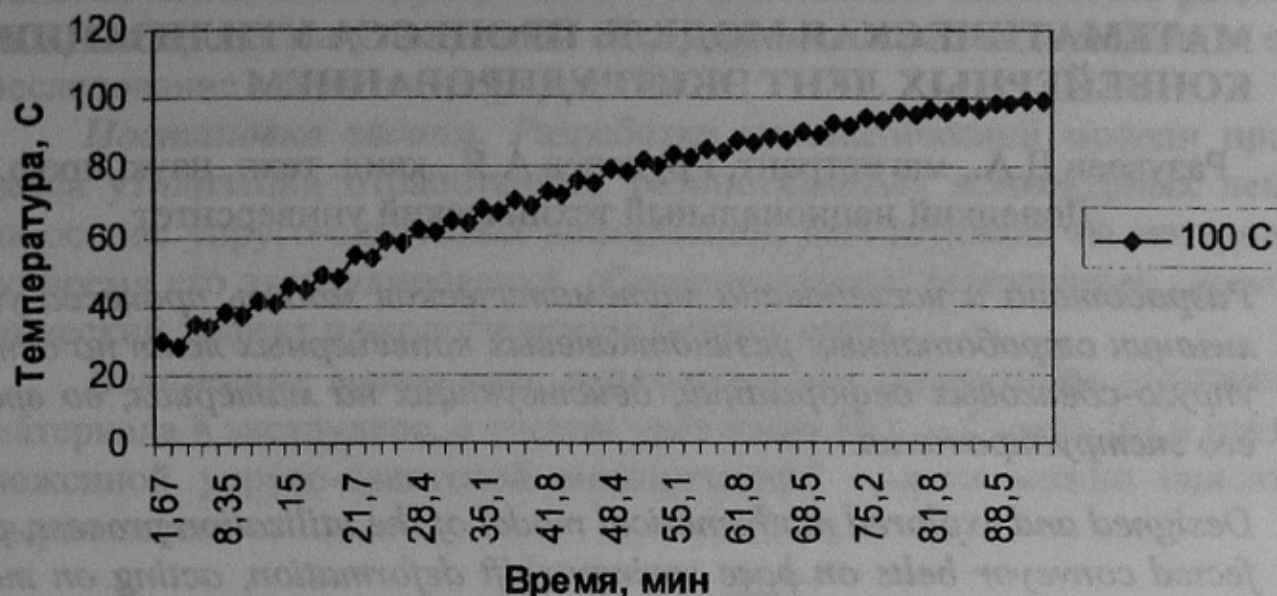


Рис. 1 – Процесс нагрева ленты при транспортировании горячих грузов

Выводы и направления дальнейших исследований. Из полученных результатов следует, что нагрев на грузовой ветви происходит более интенсивно, чем охлаждение на порожней ветви. Поэтому лента достигает температуры груза, равной 100°C, за время около 93 минут.

Направлением дальнейших исследований является изыскание методов и средств для увеличения времени прогрева и тем самым повышение срока эксплуатации конвейерных лент.

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. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача: Учебник для вузов. – М.: Энергоиздат, 1981.- 416 с.
3. Лыков А.В. Теория теплопроводности. – М.: Высшая школа, 1967. – 600 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 ДонНТУ, 2000.- 162 с.

Дата поступления статьи в редакцию: 18.10.06