

УДК 629.039.58

Расчет теплообмена приводного барабана и конвейерной ленты при ее проскальзывании

Шаклеин Н.В.; Горбунова Л.Н., к.т.н., доцент
ФГАОУ ВО Сибирский федеральный университет

Аннотация. Пожары на ленточных конвейерах в угольной, металлургической, химической, пищевой и других промышленности не редкость. За последние десятилетия хорошо изучены, но, несмотря на это, производственные аварии и несчастные случаи так или иначе случаются, иногда причиняя огромный ущерб не только предприятию, но и окружающей среде.

При анализе причин пожаров, происшедших на ленточных конвейерах, было отмечено, что до 20% возгораний произошли от источников, образующихся при трении ленты на барабанах. В связи с этим в работе приведены выводы математического анализа о процессе теплообмена приводного барабана и конвейерной ленты при ее проскальзывании.

Ключевые слова: ленточный конвейер, пожар, причины возгораний, теплообмен, проскальзывание ленты.

Calculation of heat transfer between the drive drum and the conveyor belt during slippage

Shaklein N.V.; Gorbunova L.N., Ph.D. of Engineering Sciences, Docent
FSEE HE Siberian Federal University

Abstract. Fires on conveyor belts in the coal, metallurgical, chemical, food and other industries are not uncommon. Over the past decades, they have been well studied, but, despite this, industrial accidents and accidents happen one way or another, sometimes causing tremendous damage not only to the enterprise, but also to the environment.

When analyzing the causes of fires that occurred on belt conveyors, it was noted that up to 20% of fires occurred from sources formed when the belt was rubbed on drums. In this regard, the paper presents the conclusions of the mathematical analysis on the process of heat exchange between the drive drum and the conveyor belt during its slippage.

Keywords: Belt conveyor, fire, causes of fire, heat exchange, belt slippage.

При анализе причин пожаров, происшедших на ленточных конвейерах, было отмечено, что они произошли от двух источников воспламенения [1]:

- внешних, образующихся при загорании электрических кабелей или перемещаемых горючих веществ и материалов, когда в зоне горения находится конвейер;
- источников, образующихся при трении ленты на барабанах, неисправных роликоопорах и т. п.

В связи с этим работе представлен расчет теплообмена приводного барабана и конвейерной ленты при ее проскальзывании.

При изменении скорости работы ленточных конвейеров и нагрузки на них в них зачастую происходит проскальзывание ленты. Проскальзывание ленты может привести к развитию пожара, но оно также существенно снижает надежность и долговечность конвейера [1].

Приводной барабан при пробуксовке ленты нагревается до температуры более 300 °С, которая может превышать температуру тления мелкодисперсных частиц истирания ленты [1].

Уравнение теплового баланса для этого режима проскальзывания ленты будет иметь вид [2]:

$$Q_{\text{обр}} \cdot T = Q_{\text{нб}} + T \cdot (Q_1 + Q_2 + Q_3), \text{ ккал};$$

где $Q_{\text{обр}}$ - количество тепла, образованное при работе конвейера в аварийном режиме ккал/ч;

$Q_{\text{нб}}$ - количество тепла, расходуемое на нагрев барабана и ленты, ккал;

Q_1 - количество тепла, отведенное излучением, ккал/ч;

Q_2 - количество тепла, отведенное естественной конвекцией, ккал/ч;

Q_3 - количество тепла, отведенное вынужденной конвекцией, ккал/ч;

T - время работы конвейера в режиме непрерывного проскальзывания, мин.

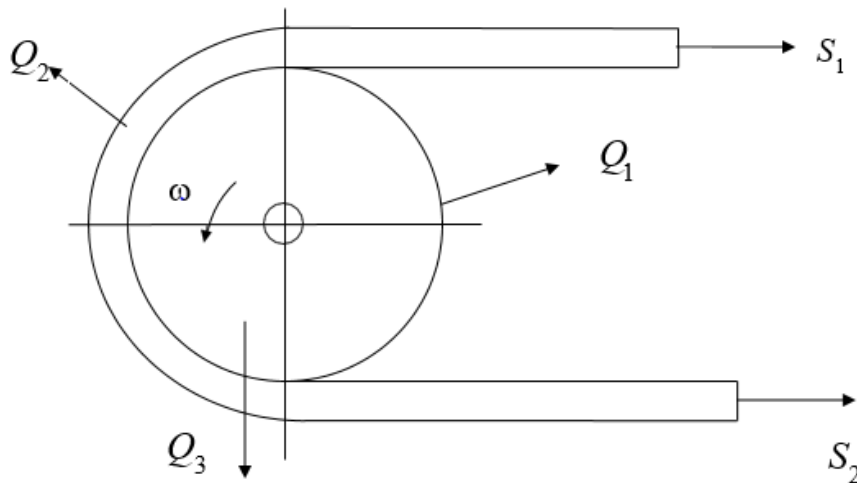


Рис. 1. Отвод тепла при непрерывном проскальзывании

Количество тепла, излучаемое в окружающую среду Q_1 [2]:

$$Q_1 = c \cdot F \left[\left(\frac{273+t_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{273+t_0}{100} \right)^4 \right], \text{ ккал/ч};$$

где F - площадь излучения, включающая в себя площади поверхностей участка барабана, не охваченного лентой, ленты на дуге обхвата и торцевых элементов барабана, м^2 ;

c - коэффициент излучения от поверхности F , для матовой поверхности, $c = 4,3 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град}$;

t_1 - критическая температура ленты;

t_0 - температура окружающей среды.

Количество тепла, отводимое участком неподвижной ленты при естественной конвекции [2]:

$$Q_2 = \alpha_1 \cdot F_{л1} (t_1 - t_0), \text{ ккал/ч};$$

где $\alpha_1 = 5 \dots 7 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч}$ - коэффициент теплоотдачи в условиях естественной конвекции;

$F_{л1}$ - площадь поверхности ленты на дуге обхвата.

Количество тепла, отводимое кольцевым элементом торцевой поверхности барабана при вынужденной конвекции [2]:

$$Q_{31} = 2(t_1 - t_0) \cdot \omega_0 \cdot \int_{R_1}^{R_2} \alpha_2 \cdot dF, \text{ ккал/ч};$$

где α_2 - коэффициент теплоотдачи при вынужденной конвекции; $\alpha_2 = 6,14 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град}$

R_1 - минимальный радиуса торцевой поверхности;

R_2 - радиуса поверхности трения;

ω_0 - угловая скорость поверхности трения барабана.

$$Q_{32} = 6,14 \cdot (t_1 - t_0) \cdot \omega_0^{0,78} (F_{п} R_2^{0,78} + 2F_{пво}^{2,78} R_{пво}^{0,78} + 2F_{ст} R_{ст}^{0,78} + 2F_{в} R_{в}^{0,78}), \text{ ккал/ч};$$

где $F_{п}, F_{пво}, F_{ст}, F_{в}$, - площади цилиндрических поверхностей соответственно трения, внутренней обода, ступицы и вала, m^2 ;

$R_2, R_{пво}, R_{ст}, R_{в}$ - радиусы поверхностей соответственно трения, внутренней обода, ступицы и вала, м.

$$Q_3 = Q_{31} + Q_{32}, \text{ ккал/ч.}$$

Количество тепла, образующегося при работе конвейера при проскальзывании ленты за час [2]:

$$Q_{обр} = \frac{S \cdot V_6}{g \cdot 2} \cdot 3600 \cdot \eta \cdot A \cdot k_T, \text{ ккал/ч;}$$

где V_6 - линейная скорость барабана;

S – усилие прижатия ленты, Н;

η - КПД привода;

A - механический эквивалент теплоты $A = \frac{1}{427}$ ккал/м кг;

k_T - коэффициент трения между барабаном и лентой, $k_T = 1,1-1,3$ в зависимости от условий работы конвейера.

Количество тепла, расходуемое на нагрев барабана и ленты [2]:

$$Q_{нб} = (c_б G_б + c_л G_л) \cdot (t_1 - t_0), \text{ ккал,}$$

где $G_б$ - масса барабана;

$G_л$ - масса ленты, участвующая в теплообмене, находящаяся на барабане кг;

$c_б = 0,11$ ккал/кг · град - теплоемкость стального барабана;

$c_л$ - теплоемкость ленты, ккал/кг · град, $c_л = 0,39$ ккал/кг · град [3].

Время нагрева ленты конвейера до критической температуры в режиме проскальзывания ленты [2]:

$$T = \frac{60 \cdot Q_{нб}}{Q_{обр} - (Q_1 + Q_2 + Q_3)}, \text{ мин.}$$

Итоги расчета значений времени нагрева ленты при проскальзывании до критических температур в зависимости от силы прижатия ленты при постоянной скорости работы ленточного конвейера и фиксированной начальной температуре представлены в таблице.

Таблица. Время нагрева ленты и барабана конвейера при проскальзывании до критических температур от усилия натяжения

S, Н	Время T, мин, достижения критической температуры t_1 , С°				
	90 С°	185 С°	250 С°	350 С°	400 С°
2000	110	-	-	-	-
4000	38,7	57,4	130,6	-	-
6000	24	29,9	42,2	343	-
8000	17,3	20,2	25,2	71	189
10000	13,54	15,3	18	39,9	68
12000	11,1	13,9	17	27,6	41
14000	9,4	11,3	14,4	21,1	30
16000	8,2	10	13	17,1	23

S, Н	Время T, мин, достижения критической температуры t_1 , C°				
	90 C°	185 C°	250 C°	350 C°	400 C°
18000	7,2	8,7	9,9	14,4	19
20000	6,5	8	9,1	12,4	16,5

По результатам расчетов проводимого для разного усилия прижатия ленты и времени теоретического проскальзывания барабана и конвейерной был получен график изменения температуры нагрева в зоне контакта ленты с барабаном в режиме пробуксовки от времени пробуксовки (рис. 2).

В отличие от обычных резиновых материалов, которые в процессе длительного применения претерпевают деструкцию уже при +150 °С, прочная термостойкая резина, используемая на конвейерах выдерживает до +300 °С. А при +400 °С даже жаропрочная резина теряет свойства и ее дальнейшая эксплуатация невозможна, поэтому за критическую температуру принимается 400 °С.

Анализируя табличные и графические данные расчета, можно сделать вывод, что нарастание температуры контакта зависит во многом от скорости работы конвейера и от суммарного натяжения ленты.

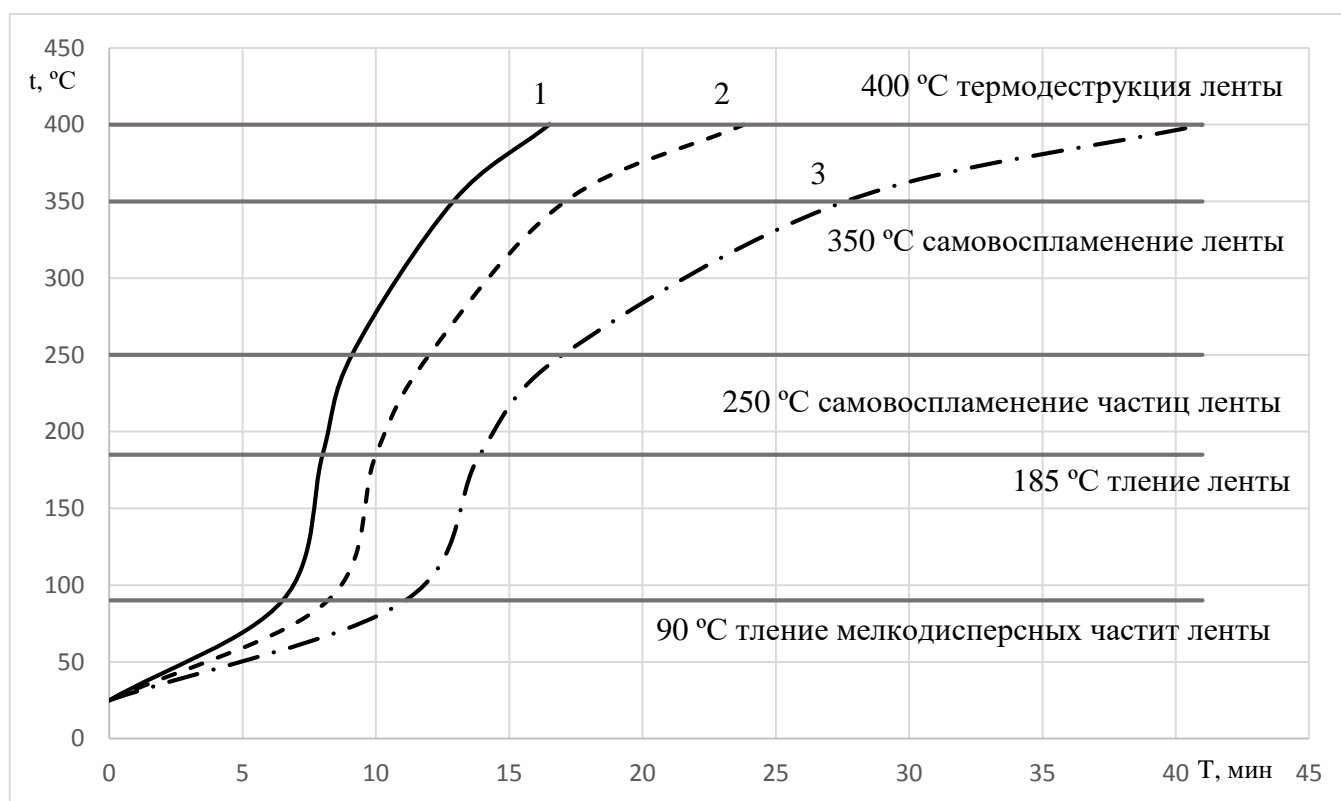


Рис. 2. Изменение температуры нагрева в зоне контакта ленты с барабаном в режиме пробуксовки. 1, 2 и 3 зависимость температуры нагрева ленты и достижения критических температур от времени проскальзывания при натяжении 20 кН, 16 кН и 12 кН соответственно.

Главным результатом данной работы является установление математической зависимости нагрева до критических температур на контакте «лента-барабан» при непрерывном проскальзывании. Например, при усилии натяжения $S = 20$ кН и скорости работы ленточного конвейера $V_n = 1$ м/с; начальной температуры окружающей среды 25 °С, время нагрева до температуры термодеструкции 400 °С за 16 минут; тления ленты 185 °С примерно 8 минут.

В дальнейшем планируется продолжать исследование в данном направлении с целью найти максимально эффективный способ снижения риска возгорания на ленточных конвейерах или полное устранения проблемы проскальзывания приводного барабана и конвейерной ленты.

Литература

1. Кравченко Е.В. Причины пожаров на ленточных конвейерах и способы их предотвращения / Е.В. Кравченко, В.П. Кудинов, Л.В. Легашева // Безопасность труда в промышленности. 2004. № 2. С. 17-20.
2. Клычков А.А., Дикенштейн И.Ф., Толкачев О.Э. Определение температуры системы конвейерная лента - приводной барабан ленточного конвейера при проскальзывании // Вести Донецкого горного института. 2013. №2. С.205-213.
3. Захарченко П.И. Справочник резинщика. – М.: «Машиностроение», 1983. – с. 220.