

УДК 621.86

Д. В. Хананов, спеціаліст,
А. Я. Грудачев, канд. техн. наук, проф.,
Донецкий национальный технический университет

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА НАГРЕВА КОНВЕЙЕРНОЙ ЛЕНТЫ ПРИ ПОЛНОЙ ПРОБУКСОВКЕ ПРИВОДНОГО БАРАБАНА ШАХТНОГО КОНВЕЙЕРА В АВАРИЙНОМ РЕЖИМЕ РАБОТЫ

Разработана и исследована математическая модель процесса нагрева ленты при пробуксовке приводного барабана в аварийных режимах работы. Установлены временные параметры достижения критических температур.

пробуксовка, аварийный режим, лента, возгорание, шахтный конвейер

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Одной из важнейших причин возгорания конвейерной ленты является полная пробуксовка приводного барабана вследствие аварийной ситуации. Известны ряд трагедий, связанных с загоранием лент [1]. Важность темы обуславливается необходимостью повышения безопасности при эксплуатации шахтных ленточных конвейеров. Проведенный анализ показал что, на шахтах Украины из числа произошедших экзогенных пожаров около 25% возникло из-за воспламенения конвейерных лент. Основной причиной является пробуксовка приводных барабанов, вследствие чего возникло примерно 80% пожаров.

Приводной барабан при пробуксовке нагревает себя и ленту до температуры, которая может превышать температуру тления мелкодисперсных частиц истирания ленты. Так в шахтах отмечен нагрев барабана выше 100°C, а измерения температуры барабана при испытаниях в лаборатории при трении ленты (табл. 1) показали, что для 25 испытанных лент температура барабана была в пределах 290°C - 440°C, а для 11 лент она превышала 330°C [2]. Конвейер, работающий с пробуксовкой ленты на приводном барабане, является источником опасности для жизни шахтеров. Пожар, который может возникнуть в результате аварийного режима работы ленточного конвейера и даже повлечь за собой взрыв, наиболее сложный по сравнению с другими видами экзогенных подземных пожаров. В результате предприятие может понести огромные убытки, но самое страшное – это угроза жизни работников предприятия.

Изучение этой темы даст возможность получить данные для рационального использования устройств контроля, устройств устранения неполадок и негативных последствий.

Анализ исследований и публикаций.

Вопросами, связанными с нагревом, возгоранием, возникновением пожаров на шахтных ленточных конвейерах занимались и занимаются отечественные и иностранные исследователи и ученые, в числе которых: доктора технических наук В.И.Саранчук, Н.Я.Биличенко, А.Д.Дубинин, М.П.Александров, В.И.Бережинский; кандидаты технических наук Л.С.Беляева и А.В.Бондаренко, Л.Я. Галушко, А.Л.Галушко, В.В.Гребенюк, А.Я.Грудачев, Ю.В.Заболотный, И.Е.Романюха, Н.И.Стадник, В.В.Радченко, В.А.Люева.

Этими вопросами занимались также научные организации, в числе которых, МГГУ, Днепропетровский горная академия, ДонНТУ, МакНИИ, ВостНИИ, НИИГД, ИнФОУ НАН Украины, Донгипроуглемаш, , ВНИИПТМАШ и др.

Постановка задачи.

Для разработки и исследования математической модели процесса нагрева ленты при пробуксовке приводного барабана шахтного ленточного конвейера, поставлены следующие задачи:

- разработать математические модели процесса нагрева ленты при полной пробуксовке приводного барабана;
- исследовать процесс нагрева ленты и элементов конструкции конвейера методом теплового баланса в режиме полной пробуксовки приводного барабана;
- обосновать временные параметры достижения лентой и барабаном критических значений температур.

Изложение материала и результаты.

Аварийный режим работы ленточного конвейера сопровождается выделением большого количества тепла. Методика определения времени нагрева ленты и приводного барабана конвейера до критических температур учитывает динамический процесс теплообмена. Под критическими температурами [2] понимают:

- 1) температуру самовоспламенения ленты в агрегатном состоянии;
- 2) температуру тления ленты в агрегатном состоянии;
- 3) температуру самовоспламенения измельченных частиц ленты и футеровки;
- 4) температуру тления измельченных частиц ленты и футеровки.

Методика основана на составлении уравнения теплового баланса [3], а процесс выделения теплоты представлен как динамический.

Одна часть тепла, образованного при пробуксовке приводного барабана, будет идти на нагрев ленты и элементов конструкции, а другая будет отдаваться в окружающую среду теплопроводностью, излучением и конвекцией. При излучении тепло будет отдаваться в виде электромагнитных волн с двойным взаимным превращением – тепловой энергии в лучистую и обратно, а при конвекции отдача тепла будет происходить между поверхностью твердого тела и жидкой средой, в нашем случае воздухом, за счет перемещения его в пространстве [4]. Причем перемещение может быть естественным, то есть происходящим вследствие разности плотностей нагретых и холодных частиц воздуха в гравитационном поле, и вынужденным, возникшим под действием посторонних возбудителей, в нашем случае это движение ленты и барабана. При естественном движении воздуха конвекция будет естественной, а при вынужденной – вынужденной.

Тепло, образованное в результате трения барабана о ленту, будет расходоваться на нагрев этих элементов, и отводиться излучением, естественной конвекцией от участка ленты и вынужденной конвекцией от торцевых поверхностей барабана, внутренней цилиндрической поверхности обода, цилиндрических поверхностей ступиц и вала схема отвода тепла приведена на рисунке 1, где S_1 и S_2 – натяжения ветвей ленты.

Уравнение теплового баланса для этого режима будет иметь вид

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

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

$Q_{нб}$ - 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 аварийном режиме.

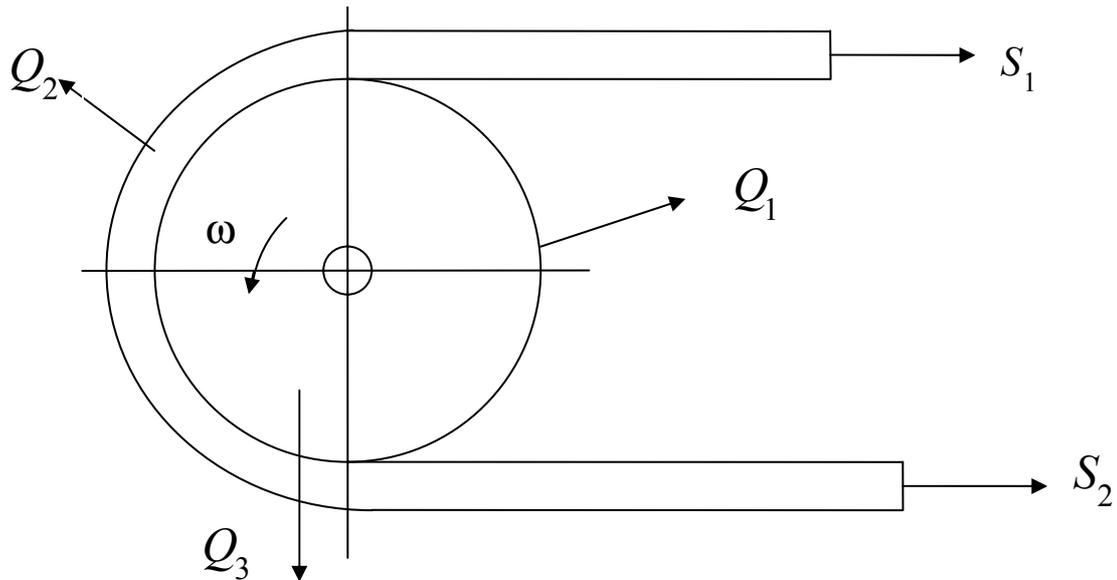


Рисунок 1 – Отвод тепла в аварийном режиме

Описание процесса нагрева производится по методу, основанному на составлении упрощенного уравнения теплового баланса, при этом принимается допущение - температура в различных местах барабана, ленты и элементов конструкции одинакова.

Количество тепла, излучаемое в окружающую среду

$$Q_1 = c \cdot F \left[\left(\frac{273 + t_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{273 + t_0}{100} \right)^4 \right], \text{ ккал/ч}, \quad (1)$$

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 - максимально допустимая температура для выбранного типа ленты;

t_0 - температура окружающей среды.

Количество тепла, отводимое участком неподвижной ленты при естественной конвекции.

$$Q_2 = \alpha_1 \cdot F_{л1} (t_1 - t_0), \text{ ккал/ч}, \quad (2)$$

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

$$dQ_{31} = \alpha_2 \cdot dF (t_1 - t_0), \text{ ккал/ч}, \quad (3)$$

где α_2 - коэффициент теплоотдачи при вынужденной конвекции,

$$\alpha_2 = 6,14 \cdot v_0^{0,78} \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град},$$

где v_0 - скорость поверхности трения барабана, м/с;

F - площадь кольцевой поверхности, м².

Производим интегрирование выражения (3) по обеим торцевым поверхностям барабана от минимального радиуса торцевой поверхности R_1 до радиуса поверхности трения R_2 и получаем

$$Q_{31} = 2 \cdot (t_1 - t_0) \cdot \int_{R_1}^{R_2} \alpha \cdot dF.$$

Кольцевой элемент имеет радиус r , значит $dF = 2\pi \cdot r dr$, тогда получаем

$$\begin{aligned} Q_{31} &= 6,14 \cdot 2 \cdot (t_1 - t_0) \cdot 2\pi \int_{R_1}^{R_2} \omega_0^{0,78} \cdot r^{1,78} dr = \\ &= 6,14 \cdot (t_1 - t_0) \cdot 4,52 \cdot \omega_0^{0,78} (R_2^{2,78} - R_1^{2,78}) \end{aligned} \quad (4)$$

где ω_0 - угловая скорость поверхности трения барабана.

Количество тепла, отводимое цилиндрическими поверхностями участвующими в теплообмене, трения барабана, внутренней обода барабана, ступицы барабана, вала барабана,

$$Q_{32} = 6,14 \cdot (t_1 - t_0) \cdot \omega_0^{0,78} (F_n R_2^{0,78} + 2F_{нво} R_{нво}^{0,78} + 2F_{см} R_{см}^{0,78} + 2F_в R_в^{0,78}) \quad (5)$$

где $F_n, F_{нво}, F_{см}, F_в$ - площади цилиндрических поверхностей соответственно трения, внутренней обода, ступицы и вала, м²;

$R_2, R_{нво}, R_{см}, R_в$ - радиусы поверхностей соответственно трения, внутренней обода, ступицы и вала, м.

Общее количество тепла, отводимого вынужденной конвекцией

$$Q_3 = Q_{31} + Q_{32}, \text{ ккал/ч}. \quad (6)$$

Количество тепла, образующегося при работе конвейера в аварийном режиме в течении часа

$$Q_{обр} = \frac{S}{g} \cdot \frac{V_{\delta}}{2} \cdot 3600 \cdot \eta \cdot A \cdot k_T \text{ ккал/ч}, \quad (7)$$

где V_{δ} - линейная скорость барабана;

S - суммарное натяжение грузовой и порожней ветвей ленты, Н;

η - КПД привода;

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

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

Количество тепла, расходуемое на нагрев барабана и ленты

$$Q_{нб} = (c_{\delta} G_{\delta} + c_l G_l) \cdot (t_1 - t_0), \text{ ккал}, \quad (8)$$

где G_{δ} - масса барабана;

G_l - масса ленты, находящейся на барабане и участвующей в теплообмене, кг;

$c_{\delta} = 0,11$ ккал/кг · град - теплоемкость стального барабана;

c_l - теплоемкость материала ленты, ккал/кг · град [5].

Уравнение теплового баланса имеет вид:

$$Q_{обр} = Q_1 + Q_2 + Q_3.$$

Количество тепла, отводимое за время T , будет равно $(Q_1 + Q_2 + Q_3) \cdot T$.

Тогда, учитывая количество тепла, расходуемого на нагрев барабана и ленты, уравнение теплового баланса примет вид

$$Q_{обр} \cdot T = Q_{нб} + T \cdot (Q_1 + Q_2 + Q_3) \quad (9)$$

Время нагрева ленты конвейера до критической температуры в аварийном режиме

$$T = \frac{60 \cdot Q_{нб}}{Q_{обр} - (Q_1 + Q_2 + Q_3)}, \text{ мин} \quad (10)$$

В результате вышеизложенного математическая модель математическая модель процесса нагрева ленты при пробуксовке приводного барабана будет иметь вид:

$$\left\{ \begin{array}{l}
 Q_1 = c \cdot F \left[\left(\frac{273+t_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{273+t_0}{100} \right)^4 \right] \\
 Q_2 = \alpha_1 \cdot F_{Л1} (t_1 - t_0) \\
 Q_{31} = 6,14 \cdot 2 \cdot (t_1 - t_0) \cdot 2\pi \int_{R_1}^{R_2} \omega_0^{0,78} \cdot r^{1,78} dr = \\
 \quad = 6,14 \cdot (t_1 - t_0) \cdot 4,52 \cdot \omega_0^{0,78} (R_2^{2,78} - R_1^{2,78}) \\
 Q_{32} = 6,14 \cdot (t_1 - t_0) \cdot \omega_0^{0,78} (F_n R_2^{0,78} + 2F_{нво} R_{нво}^{0,78} + 2F_{см} R_{см}^{0,78} + 2F_е R_е^{0,78}) \\
 Q_3 = Q_{31} + Q_{32} \\
 Q_{обр} = \frac{S}{g} \cdot \frac{V_{\bar{o}}}{2} \cdot 3600 \cdot \eta \cdot A \cdot k_T \\
 Q_{н\bar{o}} = (c_{\bar{o}} G_{\bar{o}} + c_{л} G_{л}) \cdot (t_1 - t_0) \\
 Q_{обр} \cdot T = Q_{н\bar{o}} + T \cdot (Q_1 + Q_2 + Q_3) \\
 T = \frac{60 \cdot Q_{н\bar{o}}}{Q_{обр} - (Q_1 + Q_2 + Q_3)}
 \end{array} \right. \quad (11)$$

По совокупности выражений (11) произведем расчет для следующих исходных данных: тип ленты ШР 1000-1000-5-ЕР-200-4-2 ТГ ГСТУ 12.0018579.001-99 с семью тканевыми прокладками и массой $1 \text{ м}^2 = 18,2 \text{ кг}$; теплоемкость материала ленты $c = 0,47 \text{ ккал} \cdot \text{кг}/\text{град}$; линейная скорость движения ленты $V_{л} = 3,15 \text{ м}/\text{с}$; температура окружающей среды $t_0 = 30 \text{ С}^{\circ}$; критическая температура возгорания ленты в агрегатном состоянии $t_1 = 350 \text{ С}^{\circ}$; суммарное натяжение ветвей ленты $S = 75000 \text{ Н}$.

Расчетные значения времени нагрева ленты и барабана конвейера до критических температур в зависимости от суммарного натяжения ветвей ленты при постоянной скорости вращения барабана и неизменяющейся температуре окружающей среды представлены в таблице 1. Прочерки в ячейках таблицы означают, что при данных усло-

виях лента и барабан конвейера не нагреваются до определенной критической температуры. Это объясняется тем, что количество тепла, отдаваемое в окружающую среду излучением, естественной и вынужденной конвекцией, а также идущее на нагрев элементов конструкции больше или равно количеству тепла, которое образуется при работе конвейера в аварийном режиме, при этом:

$$Q_{обр} \cdot T \leq Q_{нб} + T \cdot (Q_1 + Q_2 + Q_3).$$

Таблица 1 - Значения времени нагрева ленты и барабана конвейера до критических температур

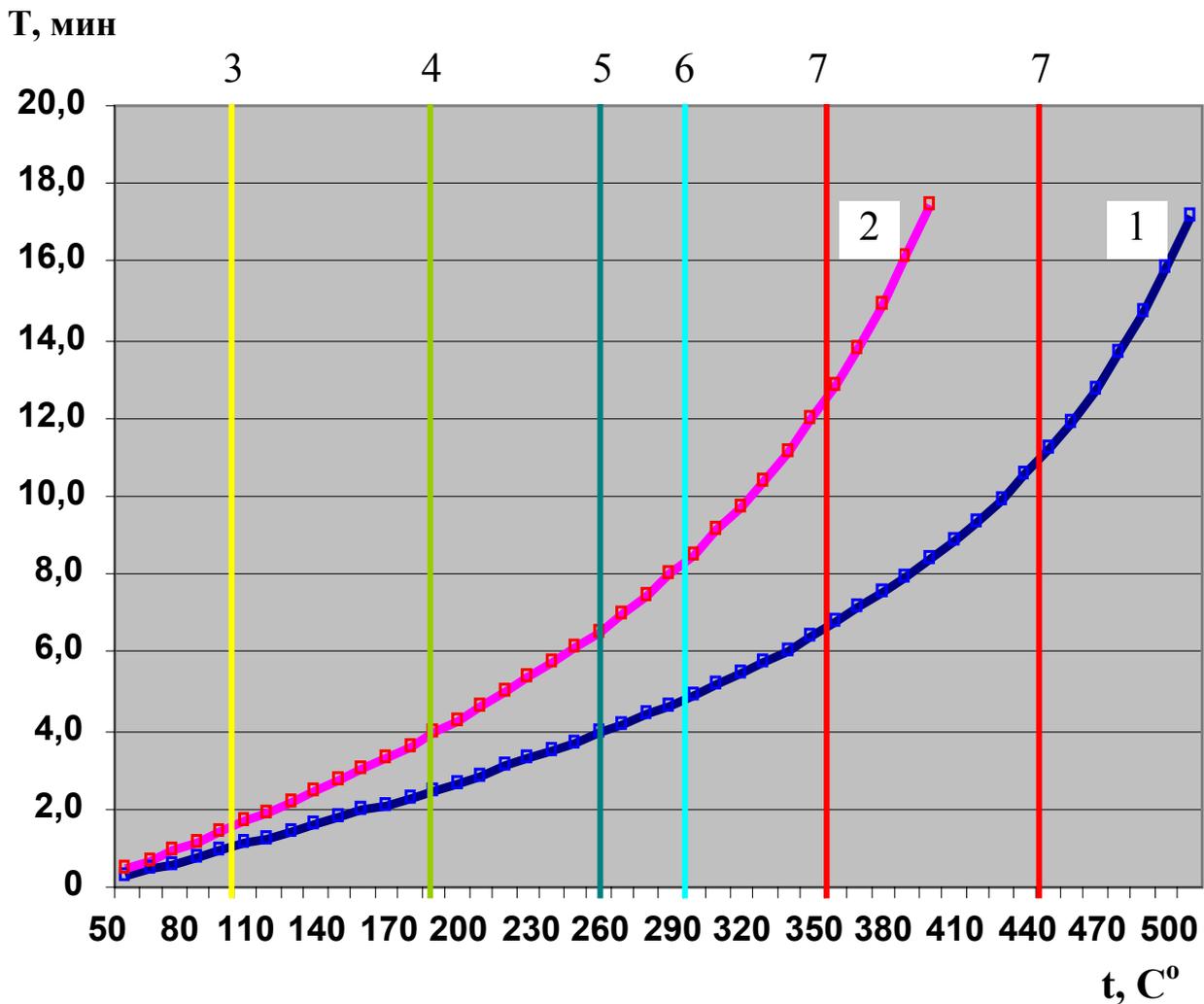
S, Н	Время T, мин, достижения критической температуры t ₁ , С°						
	90	97	185	255	290	300	350
5000	28	37	-	-	-	-	-
10000	9,10	10,64	81,43	-	-	-	-
15000	5,42	6,22	24,29	121,78	-	-	-
20000	3,86	4,39	14,27	35,57	72,05	97,51	-
25000	3,00	3,40	10,11	20,82	32,15	37,25	124,26
30000	2,45	2,77	7,82	14,72	20,69	23,03	45,37
35000	2,07	2,34	6,38	11,39	15,25	16,66	27,75
40000	1,79	2,02	5,39	9,28	12,08	13,05	19,99
45000	1,58	1,78	4,66	7,83	10,00	10,73	15,62
50000	1,41	1,59	4,11	6,78	8,53	9,11	12,82
55000	1,28	1,44	3,67	5,97	7,44	7,91	10,87
60000	1,17	1,31	3,32	5,34	6,59	7,00	9,43
65000	1,07	1,21	3,03	4,83	5,92	6,27	8,33
70000	0,99	1,12	2,79	4,40	5,37	5,68	7,46
75000	0,93	1,04	2,58	4,05	4,92	5,19	6,76
80000	0,87	0,97	2,40	3,75	4,53	4,78	6,17

Процесс нагрева ленты в режиме полной пробуксовки приводного барабана при динамическом теплообмене представлен на рисунке 2.

Выводы и направления дальнейших исследований.

Основными результатами данной работы являются:

- разработана математическая модель процесса нагрева ленты при полной пробуксовке приводного барабана;



- 1 — суммарное натяжение S=75 кН
- 2 — суммарное натяжение S=50 кН
- 3 — температура тления мелкодисперсных частиц ленты
- 4 — температура тления ленты
- 5 — температура самовоспламенения измельченных частиц ленты
- 6 — температура самовоспламенения футеровки барабана
- 7 — температура самовоспламенения ленты

Рисунок 2 - Изменение температуры нагрева в зоне контакта ленты с барабаном в режиме пробуксовки

- установлена зависимость времени достижения критических температур в зоне контакта ленты с барабаном в аварийном режиме работы. Так например для $S = 75$ кН и, $V_{л} = 3,15$ м/с; тип ленты – ШР 1000-1000-5-EP-200-4-2 ТГ ГСТУ 12.0018579.001-99, температура ок-

ружающей среды 30°C время достижения температуры тления мелко-дисперсных частиц 97°C примерно 1 минута; температуры самовоспламенения ленты в агрегатном состоянии 440°C примерно 11 минут; температуры тления ленты 185°C примерно 3 минуты; температуры самовоспламенения измельченных частиц ленты 255°C примерно 4 минуты.

Список источников.

1. Левкин Н.Б. Предотвращение аварий и травматизма в угольных шахтах Украины. – Донецк: Донбасс, 2002. – 392 с.
2. Ткачук С.П., Колосюк В.П., Ихно С.А. Взрывопожаробезопасность горного оборудования. – К.: Основа, 2000. – 590 с.
3. Александров М. П. Тормоза подъемно-транспортных машин. - М.: «Машиностроение», 1976. – с. 390.
4. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. – М.: «Энергия», 1977. – с. 344.
5. Захарченко П.И. Справочник резинщика. – М.: «Машиностроение», 1983. – с. 220.

Стаття надійшла до редколегії 23.09.2009

Рецензент: канд. техн. наук, проф. Н. Ф. Парахин

Д.В.Хананов, А.Я.Грудачев. Аналіз процесів нагріву конвеєрної стрічки при повній пробуксовці приводного барабана шахтного конвеєра в аварійному режимі роботи. Розроблена і досліджена математична модель процесу нагріву стрічки під час пробуксовки приводного барабану у аварійних режимах роботи. Визначені часові параметри досягнення критичних температур.

пробуксовка, аварійний режим, стрічка, запалення, шахтний конвеєр

D.Hananov, A.Grudachev. The Process of Conveyor Belt Heating at the Full Slipping of the Drive Pulley of a Mining Conveyor in the State of Emergency. The paper presents a mathematical model of conveyor belt heating in the process of drive pulley slipping in the state of emergency. The time parameters of reaching critical temperatures have been defined.

skidding, emergency state, conveyor belt, ignition, band conveyor

© Д. В. Хананов, А. Я. Грудачев, 2009