

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА НАГРЕВА ПОДДЕРЖИВАЮЩЕГО РОЛИКА В АВАРИЙНОМ РЕЖИМЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА

Проведено исследование процесса нагрева при взаимодействии конвейерной ленты с роликоопорой в аварийном режиме. Уточнена и проанализирована математическая модель процесса нагрева при движении ленты по заклиненному ролику, установлены зависимости температуры его нагрева при изменении скорости движения ленты, усилия, действующего на ролик.

Ключевые слова: аварийный режим, процесс, нагрев, лента, ролик, шахтный конвейер.

Постановка проблемы

Развитие топливно-энергетического комплекса страны определяется развитием и функционированием угольной промышленности. Добыча угля производится подземным способом и зависит от состояния подземного транспорта. Наиболее эффективным средством перемещения грузов в шахтах является ленточный конвейер [1]. С введением в эксплуатацию большего количества конвейеров, соответственно, происходит увеличение количества аварийных ситуаций. Одним из основных источников возникновения пожароопасных ситуаций остаются шахтные конвейерные ленты [2]. Основной из главных причин пожаров является их воспламенение в результате трения ленты о барабан и элементы конструкции.

Движение ленты производится с участием вращающихся роликоопор, которые могут иметь неисправность в аварийной ситуации. Силы прижатия движущейся ленты к ролику может быть достаточно для возникновения между ними интенсивного трения с образованием большого количества тепла и повышением температуры в месте контакта до 300 °С и более [3]. Это чревато воспламенением ленты и может привести к аварийной ситуации. Поэтому вопросы, связанные с предотвращением пожаров на ленточных конвейерах, являются актуальными.

Анализ последних исследований и публикаций

В научных исследованиях по изучению аварийных ситуаций на шахтных ленточных конвейерах рассматриваются проблемы взрыво- и пожаробезопасности оборудования и элементов конвейера и пути их решения [4...7], а также приводятся результаты испытаний конструктивных элементов, в том числе и конвейерных лент [8...10]. Вопросами возникновения пожароопас-

ных ситуаций на шахтных ленточных конвейерах, их причинами и последствиями, связанными с нагревом, возгоранием, занимались и занимаются в настоящее время многие ученые, исследователи и производственники [11...14]. Данная работа является продолжением указанных исследований.

Цель (задачи) исследования

Целью данного исследования является изучение процесса нагрева при движении конвейерной ленты по заклиненной поддерживающей роликоопоре.

Для достижения указанной цели необходимо решить следующие задачи: уточнить математическую модель процесса нагрева движущейся по заклиненному ролику ленты; исследовать процесс нагрева движущейся ленты и заклиненного ролика методом теплового баланса; провести анализ процесса нагрева при движении конвейерной ленты по заклиненному ролику.

Основной материал исследования

Исследование процесса нагрева в аварийном режиме при движении ленты по заклиненной роликоопоре шахтного ленточного конвейера основано на составлении уравнения теплового баланса [14]. Процесс выделения теплоты представлен как динамический.

В данном аварийном режиме (рис. 1) тепло, образованное трением ленты о ролик, будет расходоваться на нагрев этих элементов, отводиться излучением, естественной конвекцией от неподвижного ролика, теплопроводностью от ролика к ленте и уноситься движущейся лентой.

На рис. 1 ω_p – угловая скорость ролика, 1/с, в данном режиме $\omega_p=0$; V_l – скорость ленты, м/с, в данном режиме $V_l \neq 0$.

Уравнение теплового баланса для данного режима:

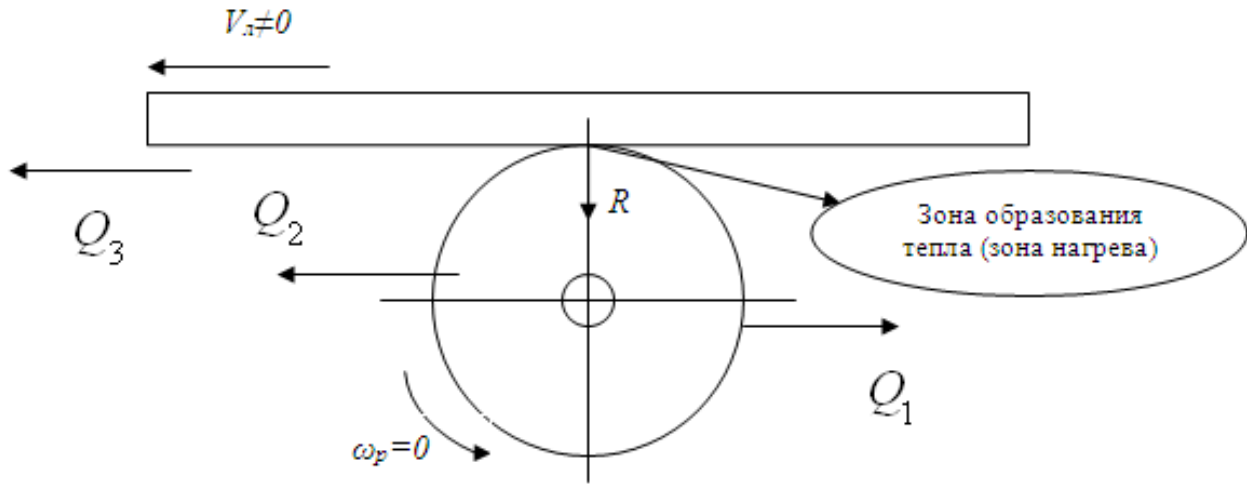


Рис. 1. Отвод тепла при режиме движения ленты по заклиненному ролику

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

$$Q_2 = \alpha_1 \cdot F_p (t_1 - t_0), \text{ Вт}, \quad (2)$$

где $Q_{обр}$ – количество тепла, образованное при работе конвейера в единицу времени, Вт; $Q_{ип}$ – количество тепла, расходуемое на нагрев ролика и ленты, Дж; Q_1 – количество тепла, отведенное излучением, Вт; Q_2 – количество тепла, отведенное естественной конвекцией, Вт; Q_3 – количество тепла, уносимое движущейся лентой, Вт.

Принятые допущения:

- температура в различных местах ролика, ленты и элементов конструкции одинакова;
- роликкоопера не имеет защитного покрытия (футеровки);
- конвейерная лента представляет собой однородный материал с соответствующими характеристиками, т.е. не учитывается количество тепла, выделяющееся при прохождении теплового потока сквозь многослойное тело [15], коэффициенты теплопроводности каждого слоя которого отличаются [16,17].

Количество тепла, излучаемое в окружающую среду:

$$Q_1 = \varepsilon \cdot C_0 \cdot F_p \left[\left(\frac{273+t_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{273+t_0}{100} \right)^4 \right], \text{ Вт}, \quad (1)$$

где F_p – площадь излучения, включающая в себя площади поверхностей участка ролика, не покрытого лентой, торцевых элементов ролика, м^2 ; C_0 – константа излучения абсолютно черного тела, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град.}^4)$; ε – степень черноты ролика; t_1 – температура в зоне нагрева, град.; t_0 – температура окружающей среды, град.

Количество тепла, отводимое естественной конвекцией:

где α_1 – коэффициент теплоотдачи в условиях естественной конвекции, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град.})$; F_p – площадь поверхности ролика, не покрытого лентой, м^2 .

Количество теплоты, уносимое движущейся лентой:

$$Q_3 = \alpha_2 \cdot F_n (t_1 - t_0), \text{ Вт}, \quad (3)$$

где F_n – площадь участка ленты в зоне нагрева, м^2 ; α_2 – коэффициент теплоотдачи в условиях вынужденной конвекции, зависящий от скорости движения ленты, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град.})$.

$$\alpha_2 = \frac{Nu_f \cdot \lambda_f}{l_n} = \frac{c \cdot Re_f^n \cdot Pr_f^{0,43} \cdot \left(\frac{Pr_f}{Pr_v} \right) \cdot \lambda_f}{l_n} = \frac{c \cdot \left(\frac{V_f \cdot l_n}{\gamma_f} \right)^n \cdot Pr_f^{0,43} \cdot \left(\frac{Pr_f}{Pr_v} \right) \cdot \lambda_f}{l_n},$$

где Nu_f – критерий теплоотдачи (Нуссельта); Re_f – критерий динамического подобия (Рейнольдса); $Pr_f = \gamma/\alpha$ – критерий Прандтля, характеризующий физические свойства среды – воздуха; Pr_f/Pr_v – член выражения, учитывающий влияние теплового потока; α – коэффициент температуропроводности; l_n – длина участка ленты в зоне нагрева, м; γ_f – кинематическая вязкость среды – воздуха, $\text{м}^2/\text{с}$; λ_f – теплопроводность среды – воздуха, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{град.})$.

Так как лента с температурой окружающей среды t_0 находится в зоне нагрева довольно незначительное время, например, при $V_n=2$ м/с,

$F_r=0,05 \text{ м}^2$ время пребывания ленты в зоне нагрева составит $0,025 \text{ с}$. Поэтому она практически не успевает нагреваться, и тогда $t_1=t_0$. Следовательно, $Q_3=0$.

Количество тепла, образующегося при взаимодействии ленты с заклиненным неподвижным роликом, в единицу времени:

$$Q_{обр} = R \cdot V_n \cdot k_T, \text{ Дж/с}, \quad (4)$$

где V_n – линейная скорость ленты, м/с; R – усилие грузовой или порожней ветви ленты, действующее на ролик, Н; k_T – коэффициент, учитывающий трение между роликом и лентой, зависит от условий работы конвейера.

Количество тепла, расходуемое на нагрев ролика и ленты:

$$Q_{np} = (c_p \cdot g_p + c_l \cdot g_l) \cdot (t_1 - t_0), \text{ Дж}, \quad (5)$$

где c_p – теплоемкость материала ролика, Дж/(кг·град); g_p – масса ролика, кг; c_l – теплоемкость материала ленты, Дж/(кг·град.), величина различна для различных типов лент [16]; g_l – масса ленты на участке касания с роликом, кг.

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

Тогда уравнение теплового баланса примет вид:

$$Q_{обр} \cdot T = Q_{np} + T \cdot (Q_1 + Q_2 + Q_3), \quad (6)$$

откуда:

$$T = \frac{Q_{np}}{Q_{обр} - (Q_1 + Q_2 + Q_3)}, \text{ с}. \quad (7)$$

Совокупность выражений (1)...(7) представляет собой математическую модель процесса нагрева заклиненного ролика при движении по нему конвейерной ленты в аварийном режиме.

Приведены расчеты по математической модели для следующих исходных данных [14,16,17]:

- площадь излучения, включающая в себя площади поверхностей ролика, не покрытого лентой, и его торцевых элементов, $F_p=0,095 \text{ м}^2$;
- константа излучения абсолютно черного тела $C_0=5,69 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град}^4)$;
- степень черноты ролика $\varepsilon=0,95$;
- температура окружающей среды $t_0=25 \text{ }^\circ\text{C}$;
- температура тления мелкодисперсных частиц $t_1=97 \text{ }^\circ\text{C}$;
- коэффициент теплоотдачи в условиях естественной конвекции $\alpha_1=6 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$;

– коэффициент, учитывающий трение между роликом и лентой, зависит от условий работы конвейера $k_T=1,2$;

– скорость ленты $V_n=2,15 \text{ м/с}$;

– усилие ленты, действующее на ролик, $R=200 \text{ Н}$;

– лента ТА-300 с 6-ю прокладками массой $1 \text{ м}^2 - 18,2 \text{ кг}$, соответственно, масса участка ленты в зоне нагрева $g_r=0,728 \text{ кг}$;

– теплоемкость материала ленты $c_r=0,971 \cdot 10^3 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{град}.)$;

– длина участка ленты в зоне нагрева $l_r=0,05 \text{ м}$;

– площадь участка ленты в зоне нагрева $F_r=0,04 \text{ м}^2$;

– ролик стальной Ст3 в эксплуатации с рабочим налетом;

– теплоемкость материала ролика $c_p=0,557 \cdot 10^3 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{град}.)$;

– масса ролика $g_p=8,3 \text{ кг}$.

Расчет согласно исходным данным.

Количество тепла, излучаемое в окружающую среду, $Q_1=55,8 \text{ Вт}$.

Количество тепла, отводимое естественной конвекцией, $Q_2=41,0 \text{ Вт}$.

Количество теплоты, уносимое движущейся лентой, $Q_3=0 \text{ Вт}$.

Количество тепла, образующегося при взаимодействии ленты с заклиненным роликом в единицу времени, $Q_{обр}=516 \text{ Вт}$.

Количество тепла, расходуемое на нагрев ролика и ленты, $Q_{np}=384000 \text{ Дж}$.

Время нагрева ленты конвейера в аварийном режиме $T=916 \text{ с}$.

Результаты исследований приведены в табл. 1 и 2, рис. 2. Прочерки в ячейках таблицы означают, что при данных условиях количество тепла, отдаваемое в окружающую среду излучением естественной и вынужденной конвекцией, идущее на нагрев элементов конструкции, больше или равно образовавшемуся количеству тепла в аварийном режиме, т.е.:

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

Табл. 1. Значения времени нагрева ролика конвейера при изменении скорости ленты

$t_1, \text{ }^\circ\text{C}$	Время T , мин, нагрева до температуры $t_1, \text{ }^\circ\text{C}$ при $R=200 \text{ Н}$				
	$V=1,6 \text{ м/с}$	$V=2,0 \text{ м/с}$	$V=2,15 \text{ м/с}$	$V=2,5 \text{ м/с}$	$V=3,15 \text{ м/с}$
90	1160	879	805	674	517
97	1340	1000	915	763	582
185	7950	4190	3560	2640	1780
255	-	-	4660	4110	4600

Табл. 2. Значения времени нагрева ролика конвейера при изменении усилия ленты, действующего на ролик

$t_1, ^\circ\text{C}$	Время T , мин, нагрева до температуры $t_1, ^\circ\text{C}$ при $V_n=2,15 \text{ м/с}$						
	$R=100 \text{ Н}$	$R=200 \text{ Н}$	$R=300 \text{ Н}$	$R=450 \text{ Н}$	$R=600 \text{ Н}$	$R=750 \text{ Н}$	$R=1000 \text{ Н}$
90	2010	805	503	322	237	187	139
97	2380	916	567	360	264	209	155
185	-	3560	1720	964	671	514	370
255	-	4660	4310	1830	1160	848	586

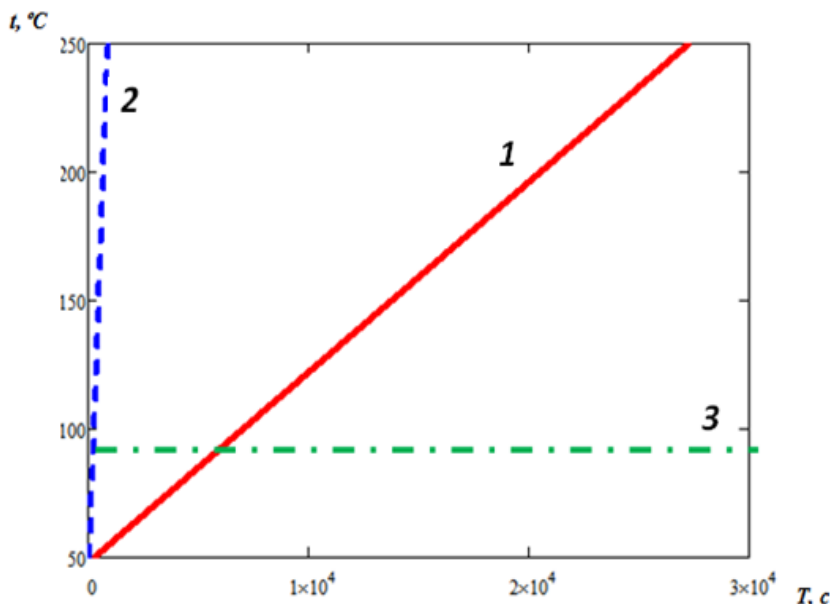


Рис. 2. Процесс нагрева ролика и ленты конвейера при изменении скорости движения ленты и усилия, действующего на ролик:
 1 – при $V_n=2,15 \text{ м/с}$, $R=200 \text{ Н}$; 2 – при $V_n=2,5 \text{ м/с}$, $R=600 \text{ Н}$;
 3 – $t=97 ^\circ\text{C}$ – температура тления мелкодисперсных частиц ленты

Из результатов исследований, приведенных в табл. 1 и 2, рис. 2, следует:

- достижение температуры тления мелкодисперсных частиц на ленте происходит при $V_n=2,15 \text{ м/с}$; $R=200 \text{ Н}$ и $V_n=2,5 \text{ м/с}$; $R=600 \text{ Н}$;

- дальнейшее увеличение времени движения конвейерной ленты по заклиненному ролику приводит к росту температуры;

- при увеличении скорости движения ленты время достижения температуры тления мелкодисперсных частиц уменьшается;

- при нагружении ленты грузом увеличивается усилие, действующее на ролик, соответственно, уменьшается время достижения температуры тления мелкодисперсных частиц на ленте.

Таким образом, при увеличении скорости движения ленты и при высоких усилиях ленты, возникающих при транспортировке грузов с большой массой по ней и действующих на ролик, на участке контакта ролика и ленты выделяется больше тепла, чем отдается в окружающую среду.

Выводы

Основным результатом проведенного исследования является уточненная математическая модель процесса нагрева ролика при движении конвейерной ленты по заклиненной поддерживающей роlikоопоре. На основании проведенных исследований были установлены зависимости времени нагрева в зоне контакта ленты с роликком в аварийном режиме. Это позволило определить временные параметры достижения определенных значений температур при заданных исходных данных, например, для ленты резинотканевой типа ТА-300 с 6-ю прокладками при скорости ленты $V=2,15 \text{ м/с}$ и усилия, действующем на ролик, $R=300 \text{ Н}$, до температуры тления мелкодисперсных частиц $97 ^\circ\text{C}$ достигается за время $T=567 \text{ с}$.

Установленная взаимосвязь параметров конвейерной ленты и ролика роlikоопоры, при достижении конкретных температур воспламенения, позволяет обоснованно находить оптимальные параметры для нормальной работы шахтного ленточного конвейера и предотвращать ава-

рийные ситуации, возникающие во время его эксплуатации.

В дальнейшем планируется исследование процесса нагрева ролика и конвейерной ленты при аварийной остановке роликотопоры с уточнением параметров дополнительных средств защиты роликов и конструкции ее как многослойного материала, в том числе, для трудногорючих лент.

Список литературы

1. Шахтный транспорт / В.А. Будишевский [и др.]. – изд. 2-е, перераб. и доп. – Донецк: ГОУВПО «ДонНТУ», 2017. – 400 с.
2. Теоретические основы и расчеты транспорта энергоемких производств: Учебное пособие для вузов / В.А. Будишевский [и др.]; под общ. ред. проф., д.т.н. В.П. Кондрахина. – изд. 2-е, перераб. и доп. – Донецк: ГОУВПО «ДонНТУ», 2017. – 216 с.
3. Левкин, Н.Б. Предотвращение аварий и травматизма в угольных шахтах Украины / Донецк: Донбасс, 2002. – 392 с.
4. Ткачук, С.П. Взрывопожаробезопасность горного оборудования / С.П. Ткачук, В.П. Колосюк, С.А. Ихно. – К.: Основа, 2000. – 590 с.
5. Ющенко, Ю.Н. Предупреждение пожароопасного нагревания приводного барабана ленточного конвейера / Ю.Н. Ющенко, А.Н. Прима, И.Ф. Дикенштейн // Горноспасательное дело. – 2011. – Вып.48. – С. 106-114.
6. Manojkumar, H. Fire Risk Prevention and Control Measures in Belt Conveyor / H. Manojkumar, R. ShiyamPresanna // International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR). – 2014. – Iss.4. – Vol.3. – P. 1084-1087.
7. Kennedy, J., Kennedy, P.M. Fires and Explosions, Determining Cause and Origin. – Investigations Institute, Chicago, IL, 1985. – 451 p.
8. Определение пожароопасности материала шахтных конвейерных лент / Л.С. Беляева [и др.] // Уголь Украины. – 2000. – №1. – С. 37-39.
9. Отчет МакНИИ №1 «Сравнительные испытания трудновоспламеняемых резинотканевых конвейерных лент». – Макеевка: Донбасс, 1969. – 311 с.
10. Отчет МакНИИ №2 «Сравнительные испытания трудновоспламеняемых резинотканевых конвейерных лент». – Макеевка: Донбасс, 1969. – 307 с.
11. Пути увеличения срока службы быстроизнашиваемых поверхностей и конвейерных лент / А.Я. Грудачев [и др.] // Уголь Украины. – 2001. – №4. – С. 33-36.
12. Теплопроводность конвейерных лент и выбор длительности вулканизации при их стыковке / Н.Я. Биличенко [и др.] // Горный журнал. – 1975. – №2. – С. 79-84.
13. Kara, A. Improvements in conveyor belt fire suppression systems for U.S. coal mines. – Pittsburgh, PA, USA: Teacoach, NIOSH, 2010. – P. 1-6.
14. Verakis, H. Reducing the Fire Hazard of Mine Conveyor Belts. Proceedings of 5th Mine Ventilation Symposium. Chapter 11, June 3-5, 1991. West Virginia University, Morgantown, WV, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. Littleton, Colorado, 1991. – P. 69-73.
15. Нащокин, В.В. Техническая термодинамика и теплопередача. Учебное пособие для неэнергетических специальностей; под ред. проф. В.С. Силецкого. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1975. – 496 с.
16. Мищенко, Т.П. Анализ процесса нагрева трудногорючей ленты как композитного материала в аварийном режиме при полной ее пробуксовке на концевом барабане / Сборник материалов IX Всерос. научно-практической конференции с международным участием «Россия молодая», 18-21 апр. 2017 г., Кемерово. – Кемерово: ФГБОУ ВО «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева, 2017. – 5 с.
17. Казанцев, Е.И. Промышленные печи. Справочное руководство для расчетов и проектирования. – М.: Metallurgy, 1975. – 118 с.
18. Захарченко, П.И. Справочник резинщика. – М.: Машиностроение, 1983. – 220 с.

A.Ya. Grudachev /Cand. Sci. (Eng.)/, T.P. Mishchenko
Donetsk National Technical University (Donetsk)

STUDY OF THE SUPPORT ROLLER HEATING PROCESS IN AN EMERGENCY MODE OF BELT CONVEYOR OPERATION

Background. *The mine conveyor belts are among the main sources of fire hazards. The belt movement participated with rotating of roller supports, which may have malfunctions that are fraught with the ignition of the belt and can lead to an emergency. Therefore, issues related to the prevention of fires on belt conveyors are relevant.*

Materials and/or methods. The objective of this paper is to study the heating process when the conveyor belt moves along the jammed support roller. To achieve this goal, the following tasks solved: the mathematical model of the heating process of the belt moving along the jammed roller refined; the process of heating the moving belt and the jammed roller by the heat balance method studied; the heating process analyzed when the conveyor belt moves along the jammed roller.

Results. The main result of the study is a refined mathematical model of the roller heating process during the movement of the conveyor belt on the jammed support roller. On the basis of the conducted studies, dependences of time of heating in a zone of contact of a belt with a roller in an emergency mode established. This made it possible to determine the time parameters for reaching certain temperature values at a given initial data, for example, for a rubber-fabric belt type TA-300 with 6 gaskets at a belt speed $V=2.15$ m/s and the force acting on the roller $R=300$ N to a melting temperature of fine particles of 97 °C achieved during the time $T=567$ s.

Conclusion. The established interrelation between the parameters of the conveyor belt and the roller of the roller support when reaching specific ignition temperatures makes it possible to reasonably find the optimal parameters for the normal operation of the mine belt conveyor and to prevent emergencies during its operation.

Keywords: emergency mode, process, heating, belt, roller, mine conveyor.

Сведения об авторах

А.Я. Грудачев

SPIN-код: 2799-3774
Author ID: 849266
Телефон: +380 (71) 361-71-06
Эл. почта: grudachev.a@yandex.ru

Т.П. Мищенко

SPIN-код: 5668-8687
Author ID: 998107
Телефон: +380 (71) 334-90-10
Эл. почта: Mtpgztl2015@yandex.ru

Статья поступила 30.01.2019 г.
© А.Я. Грудачев, Т.П. Мищенко, 2019
Рецензент д.т.н., проф. В.П. Кондрахин



Архив номеров
международных научно-технических
и производственных журналов

e LIBRARY.RU

Вибрация машин:
измерение, снижение, защита

Металлургические
процессы и оборудование

