

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПОЖАРА НА ЛЕНТОЧНОМ КОНВЕЙЕРЕ В УГОЛЬНОЙ ШАХТЕ

В.А. Малашкина¹, А.В. Шапортов¹

¹ НИТУ «МИСиС», Москва, Россия, e-mail: shaportov.andrei@yandex.ru

Аннотация: Широкое распространение ленточных конвейеров на объектах горного производства обусловлено их высокой пропускной способностью и относительной простотой эксплуатации. Вместе с тем горные выработки, оборудованные ленточными конвейерами, являются одними из наиболее пожароопасных участков шахт или рудников. Согласно статистическим данным, приводная станция и став ленточного конвейера относятся к местам с наиболее частым проявлениями пожароопасных явлений. Основную опасность возникновения пожара на протяженных участках ленточного конвейера представляет заклинивание поддерживающих роликов с последующим трением конвейерной ленты и образования участков повышенной температуры. Процесс возникновения пожара в данном случае можно описать посредством законов теплопередачи, однако, в исследованиях по данной теме не затрагивался вопрос влияния угольной пыли на ранних этапах развития загорания. Частицы угольной пыли, скапливающиеся в шероховатостях нерабочей стороны ленты, образуют слой угольной пыли, который при нагревании, вызванном трением ленты о неисправный ролик ленточного конвейера, испытывает воздействие тепла распространяющегося от участка соприкосновения двух тел. Произведено исследование процесса образования тепла в результате фрикционного взаимодействия ролика и ленты с учетом слоя угольной пыли, составлено уравнение теплового баланса, описаны процессы теплообмена нагретой поверхности ролика с окружающей средой.

Ключевые слова: шахта, рудник, ленточный конвейер, ролик, конвейерная лента, экзогенный пожар, сверххраняя стадия пожара, признаки возникновения пожара, теплообмен.

Для цитирования: Малашкина В. А., Шапортов А. В. Исследование процесса возникновения пожара на ленточном конвейере в угольной шахте // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 12. – С. 166–174. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_12_0_166.

Analysis of fire initiation on belt conveyor in coal mine

V.A. Malashkina¹, A.V. Shaportov¹

¹ National University of Science and Technology «MISiS», Moscow, Russia,
e-mail: shaportov.andrei@yandex.ru

Abstract: Wide application of belt conveyors in mines is governed by their high carrying capacity and relatively simple operation. On the other hand, underground excavations equipped with the belt conveyors are the most fire-hazardous areas in mines. On the evidence of statistics, the power-drive station and the flight of a belt conveyor are the points of the most frequent events of fire. The major hazard of fire on long belts originates at seizure of support rollers with subse-

quent friction of belt and inception of increased temperature sites. In this case, fire development can be described using the laws of heat transfer but the related research has never addressed the influence of coal dust at early stages of fire. Coal dust particles accumulate in rough edges of the unload side of the belt and generate a coal dust layer which gets heated due to friction between the belt and the disabled roller. This article analyzes the process of heating as a result of friction interaction between the conveyor belt and a roller with regard to a coal dust layer, constructs the heat balance equation and describes the interchange of heat between the heated roller surface and the ambient environment.

Key words: mine, belt conveyor, roller, conveyor belt, exogenous fire, super early fire stage, fire incipience signs, heat interchange.

For citation: Malashkina V. A., Shaportov A. V. Analysis of fire initiation on belt conveyor in coal mine. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022;(12):166-174. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_12_0_166.

Введение

Шахты и рудники являются опасными производственными объектами, обеспечение пожарной безопасности на которых имеет важное значение. Пожары на подземных объектах особенно опасны, так как могут повлечь за собой гибель людей и серьезный материальный ущерб. Одним из видов пожаров, возникающих в шахтах и рудниках, являются загорания на ленточных конвейерах. Данный вид транспорта нашел широкое распространение вследствие его большой пропускной способности и удобства в эксплуатации. Анализ статистических данных показывает, что частой причиной возникновения пожаров на конвейерах является трение в результате поломки или износа конструктивных элементов конвейера и их взаимодействия между собой, в том числе с участием угольной пыли. До 70% всех пожаров возникает вследствие заклинивания поддерживающих роликов или приводных барабанов, а также в результате трения ленты о скопления штыба [1, 2].

Методы

Заклинивание поддерживающего ролика создает благоприятную ситуацию для развития пожара. Возможны случаи

выхода из строя одного из двух подшипниковых узлов ролика и его последующего нагревания в результате трения о нагруженную ленту конвейера. Повышение температуры поверхности ролика может приводить к возникновению процессов пиролиза в отложениях угольной пыли, штыба или другого горючего материала. Для воспламенения достаточно нагреть угольную пыль до 220 °С, что в последствии может стать источником распространения огня на близлежащие горючие элементы [3, 4]. Непрерывное воздействие повышенной температуры на ленту в течение 10 – 30 мин может привести к ее воспламенению и дальнейшему развитию пожара с передачей огня на деревянные элементы крепи и ускорению его распространения [5, 6].

Проблема возникновения пожара на ленточном конвейере, является темой большого количества научных исследований [7, 8], однако ни в отечественной, ни в зарубежной литературе не встречаются сведения о взаимодействии нагретого ролика и угольной пыли. Целью работы является исследование процесса нагрева ролика, в результате сухого трения конвейерной ленты с учетом наличия угольной пыли.

Процесс нагревания заклинившегося ролика вследствие трения движущейся нагруженной ленты, можно описать посредством дифференциального уравнения теплопроводности, для вывода этого уравнения необходимо принять следующие допущения:

- тело является однородным и изотропным, то есть не учитывается различие в физических характеристиках слоев тела;
- физические параметры постоянны;
- температурная деформация объема является очень малой величиной по сравнению с самими объемом.

Поверхность ленты имеет некоторую шероховатость, что приводит к накоплению частичек пыли в полостях как на рабочей, так и на обратной сторонах ленты. Существует вероятность воспламенения слоя угольной пыли, скопившегося на ленте, при воздействии повышенной температуры от нагретого ролика.

Удельная мощность тепловыделения образовавшегося в результате трения скольжения нагруженной движущейся ленты о ролик будет равна

$$Q_{\text{обр}} = F_{\text{тр}} v \quad (1)$$

где $F_{\text{тр}}$ — сила трения на участке взаимодействия двух тел, Н; v — скорость движения ленты, м/с.

Граничные условия первого рода:

Согласно закону Амонта-Кулона — сила трения скольжения не зависит от площади соприкосновения тел, но зависит от силы нормальной реакции, воздействующей на эти тела и от свойств материалов тел

$$F_{\text{тр}} = \mu P, \text{ Н} \quad (2)$$

где μ — коэффициент трения; P — прижимная сила, воздействующая на ленту, Н.

Подставив выражение из формулы (2) в формулу обнаружения количества тепла (1), получим.

$$Q_{\text{обр}} = \mu P v, \text{ Вт} \quad (3)$$

Образовавшееся тепло, согласно закону сохранения энергии расходуется на нагрев ролика и ленты со слоем угольной пыли, и представляется в виде уравнения теплового баланса

$$Q_{\text{обр}} = Q_1 + Q_2, \text{ Вт} \quad (4)$$

где Q_1 и Q_2 — мощности тепловыделения, расходуемые на нагрев ролика и ленты со слоем угольной пыли соответственно, Вт.

Граничное условие третьего рода, характеризует процесс теплообмена между поверхностью тела и окружающей средой

$$Q_1 = \alpha(t_p - t_o), \quad (5)$$

$$Q_2 = \alpha(t_n - t_o), \quad (6)$$

где α — коэффициент, связывающий параметры трения и теплофизические свойства трения, аналогичен коэффициенту теплообмена Ньютона; t_p , t_n и t_o — температура после воздействия количества тепла Q_p , Q_n и в начальный момент времени соответственно, °С [9].

Количество тепла Q_1 и Q_2 определяется коэффициентом распределения тепловых потоков

$$Q_1 = \alpha_{\text{тп}} Q_{\text{обр}}, \quad (7)$$

$$Q_2 = (1 - \alpha_{\text{тп}}) Q_{\text{обр}}, \quad (8)$$

$$\alpha_{\text{тп}} = \frac{\sqrt{\rho_2 \lambda_2 A_2}}{\sqrt{\rho_1 \lambda_1 A_1} + \sqrt{\rho_2 \lambda_2 A_2}}, \quad (9)$$

где $\alpha_{\text{тп}}$ — коэффициент распределения тепловых потоков определяется формулой Шаррона [10]; ρ_1 — сталь, плотность, кг/м³; λ_1 — теплопроводность материала ролика, Вт/(м·К); c_1 — удельная теплоемкость материала ролика, Дж/(кг·К); ρ_2 — плотность конвейерной ленты, кг/м³; λ_2 — теплопроводность материала ленты, Вт/(м·К); c_2 — удельная теплоемкость материала ленты, Дж/(кг·К).

Подставим выражения (1) и (7) в формулу определения граничных условий третьего рода (5), получим

$$\alpha_{\text{тн}} F_{\text{тп}} v = \alpha(t_p - t_o). \quad (10)$$

Через уравнение (10) выразим коэффициент для ролика.

$$\alpha = \frac{\alpha_{\text{тн}} F_{\text{тп}} v}{(t_p - t_o)} \quad (11)$$

Коэффициент теплоотдачи α позволяет увязать параметры трения и теплофизические свойства пары трения [11, 12].

Уравнение теплового баланса, описывающее распределение тепла в теле ролика, строится на основе закона сохранения энергии и формулируется следующим образом: количество теплоты, введенное в элементарный объем извне, равно изменению внутренней энергии вещества и количеству теплоты выведенного из тела в окружающую среду (рис. 1) [13, 14].

$$Q_1 T = Q_{\text{вн1}} + Q_{\text{вш1}} T, \quad (12)$$

$$Q_2 T = Q_{\text{вн2}} + Q_{\text{вш2}} T, \quad (13)$$

где Q_1, Q_2 – мощность тепловыделения при трении, введенное в объем ролика или ленты со слоем угольной пыли за время T , Дж; $Q_{\text{вн1}}, Q_{\text{вн2}}$ – количество тепла, расходуемое на нагрев ролика или ленты со слоем угольной пыли до температуры t_p, t_n , Дж; $Q_{\text{вш1}}, Q_{\text{вш2}}$ – мощность тепловыделения, отведенного в окружающую среду, Вт; T – время нагрева ролика или ленты до температуры t_p, t_n , с.

Количество тепла, расходуемое на нагрев ролика или ленты за все время T нагрева до температуры t_p, t_n определяется выражениями

$$Q_{\text{вн1}} = c_1 g_1 (t_p - t_o), \text{ Дж} \quad (14)$$

$$Q_{\text{вн2}} = c_2 g_2 (t_n - t_o), \text{ Дж} \quad (15)$$

Мощность тепловыделения с поверхности ролика $Q_{\text{вш1}}$, отводимого в окружающую среду, является суммой тепловых потоков, расходуемых на конвективный и лучистый теплообмен

$$Q_{\text{вш1}} = Q_{\text{кв}} + Q_{\text{лч}}, \text{ Вт} \quad (16)$$

где $Q_{\text{кв}}$ – количество тепла, расходуемое на конвективный теплообмен, Вт; $Q_{\text{лч}}$ – количество тепла, расходуемое на лучистый теплообмен, Вт.

Количество тепла, расходуемое на конвективный теплообмен [15]

$$Q_{\text{кв}} = \alpha S_p (t_p - t_o), \text{ Вт} \quad (17)$$

где α – коэффициент теплоотдачи материала ролика; S_p – площадь излучения, включающая в себя площади поверхностей участка ролика, не покрытого лентой, торцевых элементов ролика, м²; t_p – температура материала ролика в зоне нагрева, град.; t_o – температура окружающей среды, град.

Количество тепла, расходуемое на лучистый теплообмен [16]

$$Q_{\text{лч}} = \varepsilon C_o S_p \left[\left(\frac{273 + t_p}{100} \right)^4 - \left(\frac{273 + t_o}{100} \right)^4 \right], \text{ Вт} \quad (18)$$

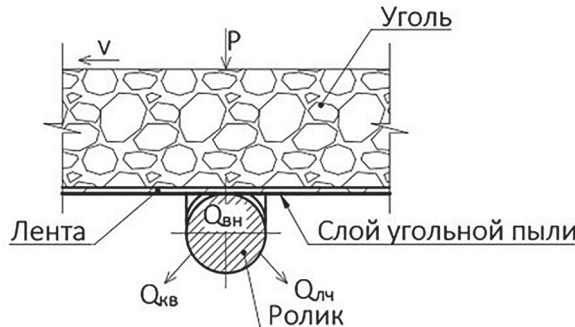


Рис. 1. Распределение тепла при нагреве неисправного ролика трением

Fig. 1. Heat distribution when a faulty roller is heated by friction

где S_p — площадь излучения, включающая в себя площади поверхностей участка ролика, не покрытого лентой, торцевых элементов ролика, m^2 ; C_o — константа излучения абсолютно черного тела, $Вт/(m^2 \cdot град.^4)$; ε — степень черноты ролика; t_p — температура в зоне нагрева, град.; t_o — температура окружающей среды, град.

На слой угольной пыли воздействуют конвективный тепловой поток $Q_{кв}$ и часть лучистого излучения $Q_{лч}^*$, излучаемого роликом в окружающую среду

$$Q_{лч}^* = \varepsilon C_o \frac{S_p}{2} \left[\left(\frac{273+t_p}{100} \right)^4 - \left(\frac{273+t_o}{100} \right)^4 \right], Вт \quad (19)$$

А также некоторая мощность поглощаемого роликом количества тепла, передаваемая от ролика за счет теплопроводности $Q_{вн1}^*$

$$Q_{вн1}^* = Q_{вн1} / T, Вт \quad (20)$$

Поверхность ленты, находящаяся в контакте с роликом, не успевает нагреться, так как соприкасающаяся поверхность, постоянно перемещается. Таким образом, мощность тепловыделения, воз-

действующая на слой угольной пыли, будет равна

$$Q_{уп} = Q_{кв} + Q_{лч}^* + Q_{вн1}^*, Вт \quad (21)$$

Постоянное воздействие тепловых потоков и повышенной температуры на поверхности ролика может привести к возникновению процесса пиролиза в слое угольной пыли, и появлению индикаторных факторов, свидетельствующих о начале сверххранной стадии развития пожара при достижении поверхностью ролика температуры $100\text{ }^\circ\text{C}$ [17].

Результаты

По выражениям (1)–(21) проведем расчет математической модели и определим мощность тепловыделения, воздействующего на слой угольной пыли при следующих исходных данных: коэффициент трения, $\mu = 3,4$; температура окружающей среды, $t_o = 25\text{ }^\circ\text{C}$; константа излучения абсолютно черного тела, $C_o = 5,69\text{ } Вт/(m^2 \cdot град.^4)$; температура поверхности ролика после воздействия Q_1 за время T , равная сверххранной стадии развития пожара при загорании угольной пыли $t_p = 100\text{ }^\circ\text{C}$ [17].

Результаты расчетов математической модели при скорости движения ленты $v = 2,15\text{ м/с}$ Results of calculations of the mathematical model at the speed of the belt $v = 2,15\text{ м/с}$

P , Н	100,00	200,00	300,00	450,00	600,00	700,00	1000,00
$F_{тр}$, Н	340,00	680,00	1020,00	1530,00	2040,00	2380,00	3400,00
$Q_{обр}$, Вт	731,00	1462,00	2193,00	3289,50	4386,00	5117,00	7310,00
α	8,27	16,53	24,80	37,20	49,60	57,86	82,66
Q_1 , Вт	619,96	1239,93	1859,89	2789,84	3719,78	4339,75	6199,64
Q_2 , Вт	111,04	222,07	333,11	499,66	666,22	777,25	1110,36
$Q_{вн1}$, Дж	192 514,95	192 514,95	192 514,95	192 514,95	192 514,95	192 514,95	192 514,95
$Q_{кв}$, Вт	94,69	189,37	284,06	426,09	568,12	662,81	946,87
$Q_{лч}$, Вт	94,70	94,70	94,70	94,70	94,70	94,70	94,70
T , с	447,11	183,25	115,24	74,03	54,53	46,39	32,03
$Q_{лч}^*$, Вт	47,35	47,35	47,35	47,35	47,35	47,35	47,35
$Q_{вн1}^*$, Вт	430,58	1050,54	1670,50	2600,45	3530,40	4150,36	6010,25
$Q_{уп}$, Вт	572,61	1287,26	2001,92	3073,89	4145,87	4860,52	7004,47

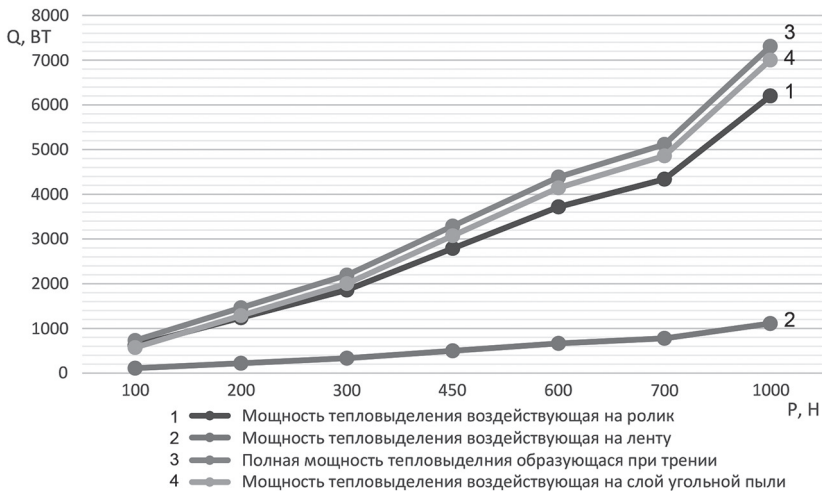


Рис. 2. Мощности тепловыделения образовавшиеся при трении ленты со слоем угольной пыли и ролика при различном воздействии прижимной силы

Fig. 2. Heat generation capacities formed by friction of a belt with a layer of coal dust and a roller under different downforce effects

Геометрические размеры ролика согласно ГОСТ Р 57841-2017: диаметр обечайки ролика, $d = 0,127$ м; длина обечайки ролика, $L = 0,380$ м; толщина стенки, $b = 0,004$ м; площадь излучения, $S_p = 0,15$ м². Физические характеристики материала ролика: сталь, плотность, $\rho_1 = 7850$ м³; теплопроводность, $\lambda_1 = 90$ Вт/(м·К); удельная теплоемкость, $c_1 = 557$ Дж/(кг·К); масса ролика, $g_1 = 4,61$ кг; степень черноты ролика, $\varepsilon = 0,95$.

Лента 2 ШТС (ТГ)-1000-4-ЕР-100/4-5+2-ТСО-РБ ГОСТ Р. Физические характеристики ленты: плотность, $\rho_2 = 1300$ м³; теплопроводность, $\lambda_2 = 10$ Вт/(м·К); удельная теплоемкость, $c_2 = 971$ Дж/(кг·К).

Обсуждение результатов

Графическое представление изменения мощности тепловыделения при различных значениях прижимной силы (рис. 2).

Минимальное время достижения температуры поверхности ролика в пятне контакта с конвейерной лентой равно температуре сверххранной фазы развития

пожара при загорании угольной пыли (100 °С), 32,03 с при нагрузке на ленту в 1000 Н. Согласно приказу Ростехнадзора от 08.12.2020 № 506 «Инструкция по аэрологической безопасности угольных шахт» для выработок, оборудованных ленточными конвейерами, датчики контроля содержания оксида углерода в горной выработке, оборудованной ленточным конвейером, устанавливаются таким образом, чтобы с учетом скорости движения воздух преодолевал расстояние между датчиками не более чем за 10 мин. Из этого следует, что время обнаружения углекислого газа, как первичного признака пожара [17] в выработках оборудованных ленточным конвейером ограничено 600 с, что не позволяет обнаруживать загорания на сверххранной стадии развития.

Заключение

Процесс образования тепла $Q_{обр}$ в результате трения ленты о неисправный ролик описывается уравнением теплового баланса (4), включающего в себя тепло расходуемое на нагрев ролика Q_1 , и ленты Q_2 . Слой угольной пыли в зоне

контакта испытывает воздействие части тепла поглощаемого и излучаемого роликом $Q_{уп}$, происходит подсушивание частичек угля с выделением летучих веществ, CO и пара. При достижении температуры пиролиза, различной для отдельных марок угля [18, 19], начинается тление, обусловленное недостатком кислорода поступающего в зону

горения. Впоследствии это может привести к образованию пламени и развитию пожара.

Определение времени достижения слоем угольной пыли температуры начала сверххранной стадии развития пожара [20], позволяет выработать критерии обнаружения загорания на наиболее раннем этапе его развития.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шапуртов А. В. Анализ промышленной безопасности и причин возникновения пожара на ленточных конвейерах в рудниках и шахтах // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № S1. — С. 57—65. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-1-1-57-65.
2. Юрченко В. М. К вопросу пожарной безопасности ленточных конвейеров // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2016. — № 2. — С. 134—144.
3. Barros-Daza M. J., Luxbacher K. D., Lattimer B. Y., Hodges J. L. Mine conveyor belt fire classification // Journal of Fire Sciences. 2021, vol. 40, no. 1, pp. 44—69. DOI: 10.1177/073490412111056343.
4. Furukawa O. Fire detection of belt conveyor using random forest // IEEJ Transactions on Fundamentals and Materials. 2021, vol. 141, no. 9, pp. 508—513. DOI: 10.1541/IEEJFMS.141.508.
5. Азбель М. Д. Разработка многофункциональной автоматизированной системы аэрогазового контроля в угольных шахтах: автореферат дис. ... доктора технических наук. — Кемерово, 2002. — 42 с.
6. Ray S. K., Khan A. M., Mohalik N. K., Mishra D., Varma N. K., Pandey J. K., Singh P. K. Methodology in early detection of conveyor belt fire in coal transportation // Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects. 2020. pp. 1—19 DOI: 10.1080/15567036.2020.1823527.
7. Грудачев А. Я., Мищенко Т. П. Исследование процесса нагрева поддерживающего ролика в аварийном режиме эксплуатации ленточного конвейера // Вестник Донецкого национального технического университета. — 2019. — № 1(15). — С. 26—31.
8. Дмитриева В. В., Сизин П. Е. Оценка надежности става ленточного конвейера при различных схемах резервирования роликоопор // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 7. — С. 85—95. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_7_0_85.
9. Mikhaïlenko S. A., Sheremet M. A. Convection in a differentially heated cubic cavity rolling about horizontal axis // International Journal of Thermal Sciences. 2022, vol. 179, pp. 3—15. DOI: 10.1016/j.ijthermalsci.2022.107639.
10. Ушанова С. Е., Зиборова Е. Ю. Повышение долговечности узлов трения горного оборудования и конвейерного транспорта // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — СВ 15. — С. 3—8. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-5-15-3-8.
11. Труфанова И. С., Сержан С. Л. Повышение эффективности транспортирования ленточным конвейером с промежуточным приводом // Записки Горного института. — 2019. — Т. 237. — С. 331—335. DOI: 10.31897/PMI.2019.3.331.
12. Амосов А. П. Элементарные теплофизические модели трения // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. — 2011. — № 4-3 (13). — С. 656—662.
13. Толкачев О. Э., Клычков А. А., Дикенштейн И. Ф. Теплообмен приводного барабана и конвейерной ленты при ее полной пробуксовке // Вестник Института гражданской защиты Донбасса. — 2015. — № 1. — С. 62—66.
14. Xiao Y., Chen L., Zhang X., Ren S., Li D. Controlling fire of belt conveyor and ventilation network calculation in underground coal mines / Conference Series: Earth and Environmental Science. 2018, vol. 189, no. 4, article 042028. DOI: 10.1088/1755-1315/189/4/042028.

15. Lisakov S., Sidorenko A., Sypin E. Research on adaptation of multi-criterial electro-optical system under object in the form of belt roadway of coal mine for fire control / XXII International conference of young specialists on micro/Nanotechnologies and electron devices. Аya, Altai Region, 2021, pp. 287–295. DOI: 10.1109/EDM52169.2021.9507631.

16. Новоселов С. В., Попов В. Б., Голик А. С. Оценка риска возникновения эндогенных пожаров в угольных шахтах // Уголь. – 2020. – № 5(1130). – С. 21–25. DOI: 10.18796/0041-5790-2020-5-21-25.

17. Шапортов А. В. Противопожарные системы на конвейерном транспорте в рудниках и шахтах // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 7. – С. 68–78. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_7_0_68.

18. Игишев В. Г., Шлапаков П. А., Хаймин С. А., Син С. А. Выделение индикаторных пожарных газов при окислении угля на стадиях самонагревания и беспламенного горения // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2015. – № 4. – С. 55–59.

19. Жихарев С. Я., Пихконен Л. В., Родионов В. А. Исследование взрывопожароопасных свойств каменного угля Прокопьевского месторождения Кузнецкого угольного бассейна // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2017. – № 3. – С. 65–74.

20. Артамонов В. С., Поляков А. С., Иванов А. Н. Сверхраннее и раннее обнаружение загораний: понятия, границы применения и единство // Пожаровзрывобезопасность. – 2016. – Т. 25. – № 9. – С. 78–83. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.09.78-83. **МИАБ**

REFERENCES

1. Shaportov A. V. Analysis of industrial safety and causes of fires on conveyor belts in ore and coal mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no. S1, pp. 57–65. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-1-1-57-65.

2. Yurchenko V. M. On the problem of fire safety belt conveyors. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2016, no. 2, pp. 134–144.

3. Barros-Daza M. J., Luxbacher K. D., Lattimer B. Y., Hodges J. L. Mine conveyor belt fire classification. *Journal of Fire Sciences.* 2021, vol. 40, no. 1, pp. 44–69. DOI: 10.1177/073490412111056343.

4. Furukawa O. Fire detection of belt conveyor using random forest. *IEEJ Transactions on Fundamentals and Materials.* 2021, vol. 141, no. 9, pp. 508–513. DOI: 10.1541/IEEJFMS.141.508.

5. Azbel' M. D. *Razrabotka mnogofunktsional'noy avtomatizirovannoy sistemy aerogazovogo kontrolya v ugol'nykh shakhtakh* [Development of a multifunctional automated system of aerogas control in coal mines], Doctor's thesis, Kemerovo, 2002, 42 p.

6. Ray S. K., Khan A. M., Mohalik N. K., Mishra D., Varma N. K., Pandey J. K., Singh P. K. Methodology in early detection of conveyor belt fire in coal transportation. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects.* 2020. pp. 1–19 DOI: 10.1080/15567036.2020.1823527.

7. Grudachev A. Ya., Mishchenko T. P. Study of the support roller heating process in an emergency mode of belt conveyor operation. *Vestnik Donetskogo natsional'nogo tekhnicheskogo universiteta.* 2019, no. 1(15), pp. 26–31. [In Russ].

8. Dmitrieva V. V., Sizin P. E. Reliability evaluation of belt conveyor line at different redundancies of carrying rollers. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 7, pp. 85–95. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_7_0_85.

9. Mikhailenko S. A., Sheremet M. A. Convection in a differentially heated cubic cavity rolling about horizontal axis. *International Journal of Thermal Sciences.* 2022, vol. 179, pp. 3–15. DOI: 10.1016/j.ijthermalsci.2022.107639.

10. Ushanova S. E., Ziborova E. Yu. Increasing the durability of friction units for mining equipment and conveyor transport. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, special edition 15, pp. 3–8. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-5-15-3-8.

11. Trufanova I. S., Serzhan S. L. Improving transportation efficiency belt conveyor with intermediate drive. *Journal of Mining Institute*. 2019, vol. 237, pp. 331 – 335. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2019.3.331.

12. Amosov A. P. Elemental thermal models of friction. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*. 2011, no. 4-3 (13), pp. 656 – 662. [In Russ].

13. Tolkachev O. E., Klychkov A. A., Dikenshtejn I. F. The heat exchange of the drive drum and full slipped conveyor belt. *Vestnik Instituta grazhdanskoy zashchity Donbassa*. 2015, no. 1, pp. 62 – 66. [In Russ].

14. Xiao Y., Chen L., Zhang X., Ren S., Li D. Controlling fire of belt conveyor and ventilation network calculation in underground coal mines. *Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2018, vol. 189, no. 4, article 042028. DOI: 10.1088/1755-1315/189/4/042028.

15. Lisakov S., Sidorenko A., Sypin E. Research on adaptation of multi-criterial electro-optical system under object in the form of belt roadway of coal mine for fire control. *XXII International conference of young specialists on micro/Nanotechnologies and electron devices*. Aya, Altai Region, 2021, pp. 287 – 295. DOI: 10.1109/EDM52169.2021.9507631.

16. Novoselov S. V., Popov V. B., Golik A. S. Assessment of the risk of endogenous fires in coal mines. *Ugol'*. 2020, no. 5(1130), pp. 21 – 25. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2020-5-21-25.

17. Shaportov A. V. Fire protection systems on conveyor transport in mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022, no. 7, pp. 68 – 78. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_7_0_68.

18. Igishev V. G., Shlapakov P. A., Haimin S. A., Sin S. A. Fire indicator gases liberation at coal oxidation at the stage of self-heating and flameless combustion. *Bulletin of Research Center for Safety in Coal Industry (Industrial Safety)*. 2015, no. 4, pp. 55 – 59. [In Russ].

19. Zhiharev S. YA., Pihkonen L. V., Rodionov V. A. Research of fire and explosion hazardous properties for hard coal at the prokopyevsk coal field of the kuznetsk coal basin. *News of the Tula state university. Sciences of Earth*. 2017, no. 3, pp. 65 – 74. [In Russ].

20. Artamonov V. S., Polyakov A. S., Ivanov A. N. Ultraearly and early fire detection: terms, limits of use and unity. *Fire and Explosion Safety*. 2016, vol. 25, no. 9, pp. 78 – 83. [In Russ]. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.09.78-83.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Малашкина Валентина Александровна¹ – д-р техн. наук, профессор, e-mail: promecology@mail.ru,

ORCID ID: 0000-0001-9270-4790,

Шапортов Андрей Владимирович¹ – аспирант,

e-mail: shaportov.andrei@yandex.ru,

ORCID ID: 0000-0001-6931-6140,

¹ НИТУ «МИСиС».

Для контактов: Шапортов А.В., e-mail: shaportov.andrei@yandex.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

V.A. Malashkina¹, Dr. Sci. (Eng.), Professor,

e-mail: promecology@mail.ru,

ORCID ID: 0000-0001-9270-4790,

A.V. Shaportov¹, Graduate Student,

e-mail: shaportov.andrei@yandex.ru,

ORCID ID: 0000-0001-6931-6140,

¹ National University of Science and Technology «MISIS»,

119049, Moscow, Russia.

Corresponding author: A.V. Shaportov, e-mail: shaportov.andrei@yandex.ru.

Получена редакцией 01.07.2022; получена после рецензии 15.09.2022; принята к печати 10.11.2022.

Received by the editors 01.07.2022; received after the review 15.09.2022; accepted for printing 10.11.2022.