

ПРОТИВОПОЖАРНЫЕ СИСТЕМЫ НА КОНВЕЙРНОМ ТРАНСПОРТЕ В РУДНИКАХ И ШАХТАХ

А.В. Шапортов

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

Аннотация: Ленточный конвейер, распространенное средство транспортирования полезного ископаемого в шахтах и рудниках. На современных горнодобывающих предприятиях с подземным способом добычи длина конвейерных сетей может достигать нескольких десятков километров. Вместе с тем конвейер – это сложное техническое устройство, требующее постоянного внимания персонала предприятия, и его эксплуатация связана с риском возникновения пожароопасных ситуаций при ненадлежащем техническом обслуживании. Для предотвращения возникновения пожара и обнаружения возгораний используются различные технические системы по контролю и измерению концентрации горючих и токсичных газов в шахтной атмосфере, измерению температуры окружающей среды и конструктивных элементов ленточного конвейера, а также других факторов, сопровождающих процесс горения. Рассмотрены состав и назначение систем обнаружения пожара на конвейерном транспорте в рудниках и шахтах, входящих в состав общешахтного комплекса автоматизации и диспетчеризации. К таким системам относятся: система автоматизированного газового контроля, система управления конвейерным транспортом. Рассмотрен состав и назначение системы общешахтной пожарной сигнализации. Проанализированы возможности противопожарных систем по обнаружению признаков возникновения пожара в выработках, оборудованных ленточным конвейером, приведены их достоинства и недостатки.

Ключевые слова: шахта, рудник, ленточный конвейер, экзогенный пожар, аэрогазовый контроль, аэрогазовая защита, ранняя стадия пожара, признаки возникновения пожара.

Для цитирования: 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.

Fire protection systems on conveyor transport in mines

A.V. Shaportov

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

Abstract: A belt conveyor is a common means of ore and gangue haulage in underground mines. The present-day conveyor networks in mines may be several kilometers long. At the same time, a conveyor is a sophisticated engineering device. It requires permanent attendance, while improper maintenance may cause risk of fire. The fire detection and prevention activities use various systems of measuring and monitoring concentrations of combustible and toxic

gases in mine air, temperature of mine air and of the belt conveyor components, as well as some other factors associated with the burning process. This study discusses the structure and purpose of the belt conveyor fire detection systems within the mine automation and dispatching control. Such systems include: automated gas control and conveyor control. The structure and purpose of the mine fire alarm system are discussed. The capabilities of fire protection systems to detect early signs of fire hazards in roadways equipped with belt conveyors are analyzed, and their advantages and disadvantages are listed.

Key words: coal mine, ore mine, belt conveyor, exogenous fire, air and gas control, air and gas protection, early fire stage, early fire signs.

For citation: Shaportov A. V. Fire protection systems on conveyor transport in mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022;(7):68-78. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_7_0_68.

Введение

Шахты и рудники являются опасными производственными объектами, к эксплуатации которых предъявляются особые требования в связи с высокой взрыво- и пожароопасностью. Возникновение подземного пожара в шахте может привести к тяжелым последствиям, связанным с простоем предприятия и даже человеческим жертвам [1, 2].

Горное предприятие — это большой производственный комплекс, в состав которого входит оборудование для добычи и транспортирования полезного ископаемого. Ленточный конвейер является одним из наиболее востребованных способов перемещения полезного ископаемого от добычного участка на поверхность [3]. Система шахтного конвейерного транспорта включает в себя добычные и магистральные участки, составляющие разветвленную сеть ленточных конвейеров длиной до десятков километров.

Для обслуживания выработок, оборудованных ленточными конвейерами, применяются различные системы управления и мониторинга, входящие в систему автоматизированного управления технологическими процессами (АСУТП) на шахте или руднике, а также система

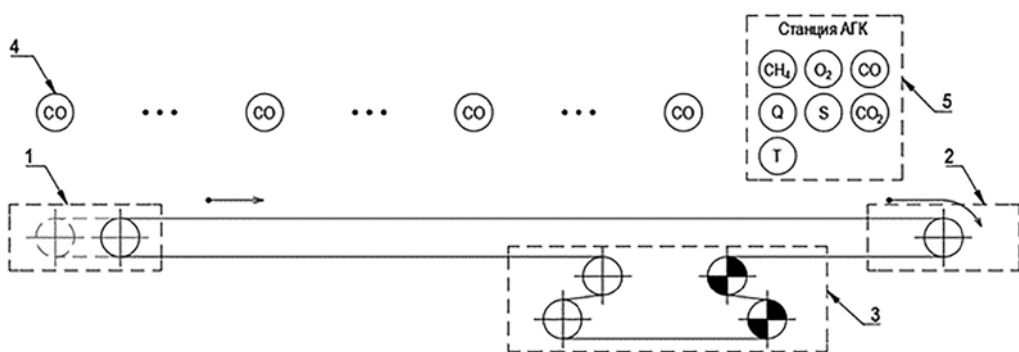
шахтной пожарной сигнализации и пожаротушения [4].

К подсистемам шахтной АСУТП, обеспечивающим безопасную эксплуатацию ленточных конвейеров, можно отнести систему аэрогазового контроля (АГК) и автоматизированную систему управления конвейерным транспортом (АСУ КТ).

Принцип работы большинства устройств, входящих в состав систем АГК, АСУ КТ и шахтной пожарной сигнализации, основан на обнаружении индикаторных факторов пожара, к которым относятся: задымление; повышение температуры окружающей среды и конструктивных элементов конвейера; увеличение концентрации монооксида углерода CO и углекислого газа CO₂; снижение концентрации кислорода O₂; пламенное горение. Обнаружение индикаторных факторов в рассматриваемых системах осуществляется посредством химико-аналитического и физического способов. Последний подразделяется на тепловой и дымовой способы.

Система автоматизированного аэрогазового контроля

Системы АГК предназначены для контроля состава и свойств шахтной ат-



1 – натяжная станция; 2 – бункер, станция перегруза;
 3 – приводная станция; 4 – датчик оксида углерода;
 5 – станция АГК, включающая датчики метана (CH_4), кислорода (O_2), оксида углерода (CO), расхода воздуха в горной выработке (Q), скорости воздуха (S), двуокиси углерода (CO_2), температуры (T)

Рис. 1. Пример расположения датчиков системы АГК в выработке, оборудованной ленточным конвейером

Fig. 1. Example of air and gas sensor layout in roadway equipped with belt conveyor

мосферы и особо важны в условиях газовых шахт и рудников [5]. Современный аэрогазовый контроль включает в себя датчики контроля горючих и токсичных газов, влажности и скорости потока воздуха (рис. 1).

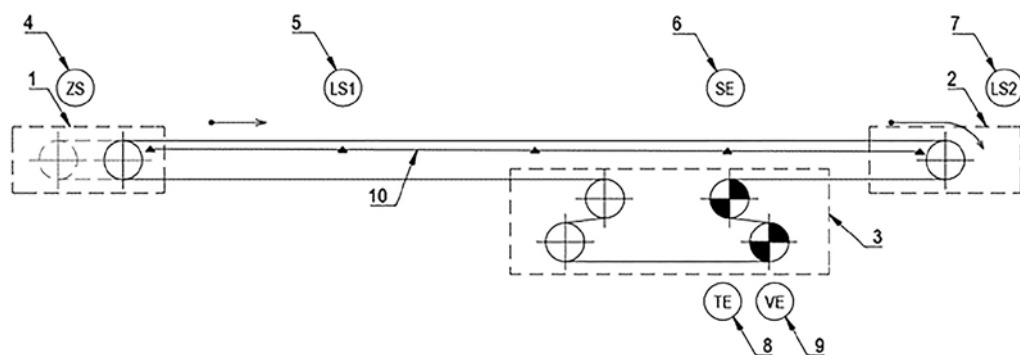
Системы АГК построены на принципе мультикритериальности, который подразумевает формирование сообщения об опасности взрыва или пожара, основываясь на совокупности параметров, позволяя определить признаки возникновения эндогенного или экзогенного пожара [6, 7]. Выработки, оборудованные ленточными конвейерами, могут быть оснащены системой АГК для контроля пожароопасной обстановки, связанной непосредственно с ленточным конвейером и другими опасными явлениями, сопровождающимися повышением концентрации горючих и взрывоопасных газов.

В состав системы АГК входят датчики метана, оксида углерода, двуокиси углерода, температуры воздуха, расхода воздуха в горной выработке, кислорода, скорости воздуха, запыленности. Принцип работы датчиков концентрации го-

рючих и токсичных газов основан на химико-аналитическом способе обнаружения индикаторных факторов пожара, датчиков температуры — на тепловом (физическом) способе.

Согласно приказу Ростехнадзора от 08.12.2020 № 506 «Инструкция по аэрологической безопасности угольных шахт» для выработок, оборудованных ленточными конвейерами, предъявляются следующие требования в области аэрогазовой защиты и обнаружения пожара:

- контроль содержания оксида углерода датчиками, расположенными не более чем в 25 м от приводной и натяжной станций, мест перегрузки угля и изменения угла наклона конвейера в направлении движения вентиляционной струи;
- датчики контроля содержания оксида углерода в горной выработке, оборудованной ленточным конвейером, устанавливаются таким образом, чтобы с учетом скорости движения воздуха преодолевал расстояние между датчиками не более чем за 10 мин;
- датчики должны монтироваться в верхней части выработки.



- 1 – натяжная станция; 2 – бункер; станция перегруза; 3 – приводная станция;
 4 – датчик контроля ограждения натяжной станции (ZS); 5 – датчик контроля схода ленты (LS1);
 6 – датчик скорости движения ленты (SE); 7 – датчик пересыпа и заштыбовки ленты (LS2);
 8 – датчик температуры на электродвигателе (TE); 9 – датчик вибрации на электродвигателе (VE);
 10 – кабель-тросовый выключатель

Рис. 2. Структурная схема системы автоматизированного управления конвейерным транспортом
 Fig. 2. Structure of automated conveyor control system

Система автоматизированного управления конвейерным транспортом

АСУ КТ предназначена для централизованного контроля за состоянием оборудования, входящего в состав ленточного конвейера. Система управления конвейерным транспортом — это составная часть общей системы автоматизированного управления технологическими процессами. Мониторинг оборудования осуществляется с помощью датчиков температуры, вибрации приводных механизмов, скорости и контроля схода ленты, контроля разрыва ленты [8, 9] (рис. 2). Информация о состоянии оборудования поступает на пульт диспетчера, система также может экстренно остановить работу конвейера при определении неисправности.

Контроль скорости ленты и барабана позволяет своевременно реагировать на пробуксовку ленты на приводных станциях и снижать риск возникновения пожара [10], датчики температуры и вибрации на электродвигателях приводных станций сигнализируют о неисправности подшипниковых узлов.

Система шахтной пожарной сигнализации

Система пожарной сигнализации (см. рис. 3) предназначена для обнаружения пожара, обработки и передачи информации о пожаре с последующей передачей команд управления на устройства, входящие в состав автоматизированных установок пожаротушения и оповещения [11].

В состав шахтной системы пожарной сигнализации входят следующие пожарные извещатели: ручные, дымовые, газовые, температурные, пламени [12, 13].

Принцип работы ручных пожарных извещателей основан на физиологическом способе обнаружения индикаторных факторов пожара, когда работник предприятия определяет факт возникновения пожара органами чувств и самостоятельно приводит в действие устройство включения оповещения, устанавливаемое в выработку.

Газовые пожарные извещатели работают в дифференциальном режиме и определяют нарастание концентрации угарного газа выше порогового значения, что позволяет снизить вероятность лож-

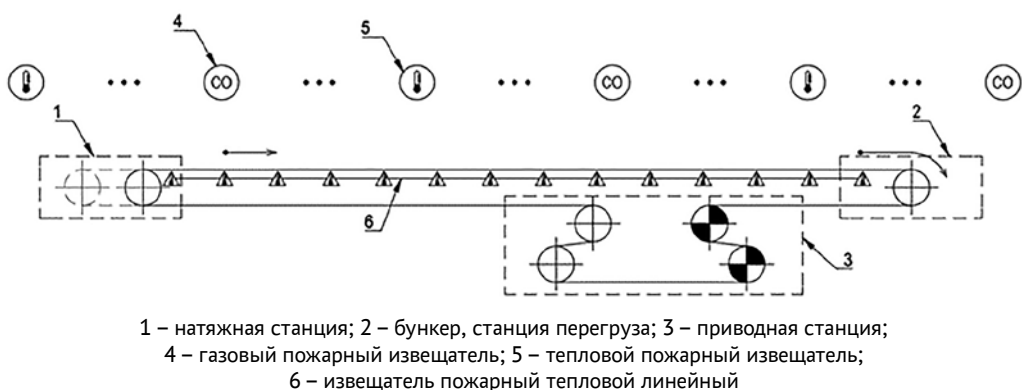


Рис. 3. Пример расположения пожарных извещателей на участке ленточного конвейера
Fig. 3. Example of fire alarm layout in area of belt conveyor

ного срабатывания пожарной сигнализации и обнаруживать пожар, данный принцип работы относится к химико-аналитическому способу обнаружения пожара. Преимуществом газовых извещателей является возможность обнаружить пожар на стадии тления, недостатком — невозможность контролировать атмосферу по всей длине горной выработки [14].

Принцип работы дымовых, тепловых извещателей и извещателей пламени основан на физическом способе взаимодействия с окружающей средой. Тепловые извещатели так же, как газовые, имеют дифференциальный режим работы, определяя нарастание температуры, извещатели пламени фиксируют изменение электромагнитного излучения в выработке в инфракрасном и ультрафиолетовом диапазоне [15].

Проектной документацией на шахту или рудник согласно ГОСТ Р 57052-2016

определяется выполнение функций пожарной сигнализации средствами, входящими в состав системы автоматизированного газового контроля. Это означает, что датчики концентраций горючих и токсичных газов, а также датчики температуры системы АГК, могут быть включены в систему шахтной пожарной сигнализации.

На ленточных конвейерах широкое применение получили распределенные волоконно-оптические температурные извещатели [16], руководство по эксплуатации ЭСА 211121.001-2.2 РЭ (рис. 4) и термокабели, руководство по эксплуатации СПР.425212.005 РЭ (рис. 5).

Преимущество последних перед другими извещателями заключается в возможности контролировать температуру по всей длине конвейера [17, 18]. Однако процесс возникновения пожара на ставе ленточного конвейера требует дополнительного изучения, так как требо-



Рис. 4. Извещатель пожарный тепловой линейный ИП104 «Гранат-термокабель» (GTSW)
Fig. 4. Linear heat detector and fire alarm IP104 Granat-thermocable (GTSW)

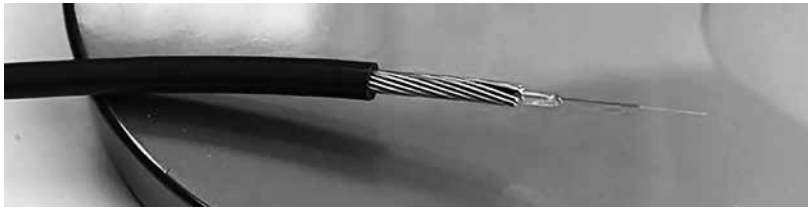


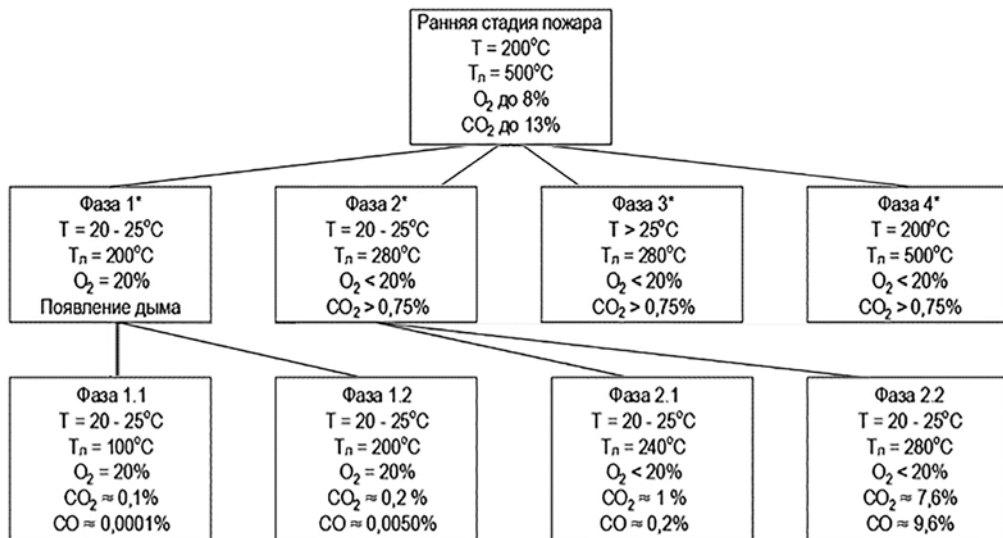
Рис. 5. Извещатель пожарный тепловой линейный ИП 132-1-Р «Елань»
 Fig. 5. Linear heat detector and fire alarm IP 132-1-R Elan

вания к использованию распределенных систем контроля температуры, включающие в себя минимальное расстояние от поддерживающего ролика и чувствительного элемента, на данный момент не определены.

Каждая из перечисленных систем в отдельности позволяет обнаруживать различные индикаторные факторы пожара. В то же время современный функционал не позволяет обнаружить все возможные признаки возникновения пожара без совокупного использования всех систем, обеспечивающих безопасную эксплуатацию ленточного конвейера.

Анализ возможностей систем по обнаружению пожара на ленточном конвейере на ранней стадии

На ранней стадии расход приточного воздуха увеличивается, затем снижается, среднеобъемная температура газовой среды (T), окружающей зону горения, повышается до $200\text{ }^{\circ}\text{C}$, а локальная температура в очаге пожара (T_n) достигает $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ [19]. Снижается уровень объемной доли кислорода, поступающего в зону горения (до 8%), и повышается объемная доля диоксида углерода в уходящих газах (до 13%). Ранняя стадия



* Фазы возгорания материала по классификации НИИГД (г. Донецк) [5]

Рис. 6. Этапы формирования ранней стадии развития пожара
 Fig. 6. Early fire generation stages

пожара включает 4 фазы возгорания материала [20, 21] (рис. 6).

Первые две фазы возгорания материала можно классифицировать на составляющие. Параметры фазы 1.1 можно отнести к сверхранней стадии развития пожара, особенностью которой является отсутствие изменения среднеобъемной температуры (T) и нахождение показателя концентраций индикаторных газов CO и CO_2 ниже пороговых значений, указанных в инструкции по аэрологической безопасности угольных шахт.

Анализ возможностей системы аэрогазовой защиты, автоматизированной системы управления и системы пожарной сигнализации по обнаружению признаков возникновения пожара на ленточ-

ном конвейере на ранней стадии представлены в таблице.

Система АГК позволяет обнаружить нарастание концентрации монооксида углерода в фазе 1.2, превышение порогового значения углекислого газа и уменьшение концентрации кислорода в фазе 2.1 ранней стадии пожара, а также увеличение температуры среды, окружающей зону горения в фазе 3.

Система автоматизированного управления конвейерным транспортом АСУ КТ фиксирует превышения порогового значения температуры на конструктивных элементах конвейера, технические средства данной системы позволяют обнаружить пожар на фазе 3 ранней стадии пожара.

Распределение основных технических систем по возможностям определения индикаторных факторов пожара на ранней стадии

Main engineering systems with respect to capacity to detect early fire signs

Индикаторные факторы пожара	АГК	АСУ КТ	Система шахтной пожарной сигнализации	
			без ИПТЛ*	с ИПТЛ*
Задымление: - изменение уровня оптической плотности среды в диапазоне от 0,05 до 0,2 Дб/м (применение в выработке, оснащенной ленточным конвейером осложнено запыленностью)	—	—	1.2	1.2
Повышение температуры окружающей среды: - нарастание температуры в диапазоне от 5 до 30 °С/мин	3	—	3	3
Повышение температуры конструктивных элементов конвейера: - пороговая температура 140 °С	—	1.2	—	1.2
Увеличение концентрации CO : - пороговая концентрация 0,0017%	1.2	—	1.2	1.2
Увеличение концентрации CO_2 : - пороговая концентрация в исходящей струе добычного участка 0,5% - пороговая концентрация в исходящей струе крыла шахты 0,75%	2.1	—	—	—
Снижение концентрации O_2 в зоне горения: - пороговая концентрация 20%	2.1	—	—	—

* ИПТЛ — извещатель пожарный тепловой линейный.

Шахтная пожарная сигнализация позволяет обнаружить пожар в фазе 1.2, посредством газовых пожарных извещателей, линейных тепловых извещателей и точечных дымовых извещателей. Однако использование последних в шахте осложнено запыленностью.

Выводы

Пожар на ленточном конвейере — опасное явление, способное привести к большому материальному ущербу и создающее угрозу человеческой жизни, в связи с чем его обнаружение должно осуществляться на наиболее ранних этапах развития.

Ранняя стадия развития пожара включает 4 фазы возгорания материала, для анализа возможностей систем противопожарной защиты в рудниках и шахтах определены параметры индикаторных факторов пожара в каждой из фаз. Анализ параметров (рис. 6) позволил классифицировать фазу 1 и 2. Фаза 1.1 является сверххранной стадией развития пожара, значения всех индикаторных факторов в данной фазе ниже пороговых, установленных в инструкции по аэрологической безопасности угольных шахт. Фаза 1.2 характеризуется появлением дыма, ростом локальной температуры очага пожара до 200 °С и превышением порогового значения concentra-

цией монооксида углерода. В фазе 2.1 характерно снижение концентрации кислорода в очаге пожара ниже 20% и превышение порогового значения концентрации углекислого газа. В фазе 2.2 происходит значительный рост концентраций индикаторных газов CO и CO₂.

Проведенный анализ возможностей систем, обеспечивающих пожарную безопасность в выработках, оборудованных ленточным конвейером, показал, что существующие системы способны обнаружить индикаторные факторы пожара на ранней стадии. Система аэрогазового контроля позволяет определить факт развития пожара в фазе 1.2, система АСУ КТ — в фазе 3.

Оборудование, входящее в состав шахтной пожарной сигнализации, позволяет обнаруживать пожар в фазе 1.2 по классификации (рис. 6).

Выявление всех индикаторных факторов пожара возможно только при совместном использовании всех систем, обеспечивающих безопасную эксплуатацию ленточного конвейера. Направлением повышения пожарной безопасности в выработках, оборудованных ленточным конвейером, является обнаружение пожара на сверххранной стадии развития, что позволило бы сократить время для его локализации и ликвидации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.

2. Шапортов А. В. Анализ промышленной безопасности и причин возникновения пожаров 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.

3. 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.

4. *Бабенко А. Г., Ютяев Е. П.* Риск-ориентированное управление угольной шахтой с использованием многофункциональных систем безопасности // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2019. — № S6. — С. 9–20. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-4-6-9-20.

5. *Азбель М. Д.* Разработка многофункциональной автоматизированной системы аэрогазового контроля в угольных шахтах: автореферат дис. ... доктора технических наук. — Кемерово: ФГУП Науч. центр по безопасности работ в угольной пром-сти ВОСТНИИ, 2002. — 42 с.

6. *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.

7. *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.

8. *Дмитриева В. В., Авхадиев И. Ф., Сизин П. Е.* Использование современных программно-технических комплексов для автоматизации конвейерных линий // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 2. — С. 150–163. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-2-0-150-163.

9. *Дмитриева В. В.* Современные задачи автоматизации ленточного конвейерного транспорта // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2013. — № S1. — С. 281–286.

10. *Вяльцев А. В., Фролов А. В.* Вероятностный подход к разработке методики оценки риска возникновения пожара от трения при пробуксовке приводного барабана ленточного конвейера // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2009. — № S12. — С. 125–128.

11. *Малашкина В. А., Лобазнов А. В.* Система автоматизированного контроля возгораний в угольных шахтах // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2008. — № S6. — С. 232–237.

12. *Шапуртов А. В.* Основные способы обнаружения пожара на ленточных конвейерах на горных предприятиях / Актуальные проблемы недропользования: Тезисы докладов XIX Всероссийской конференции-конкурса студентов и аспирантов. — СПб.: СПбГУ, 2021. — С. 81–85.

13. *Юрченко В. М.* К вопросу пожарной безопасности ленточных конвейеров // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2016. — № 2. — С. 134–144.

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

15. *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. DOI: 10.1080/15567036.2020.1823527.

16. *Li R., Yang X., Liu T., Zhang S., Wang J., Hou M., Grattan K. T. V., Sun T.* Application of fiber optic sensors for vibration and ignition monitoring of a belt conveyor system / SPIE Proceedings, 2019, vol. 11340. AOPC 2019: Optical Fiber Sensors and Communication. DOI: 10.1117/12.2548165.

17. *Сайдулин Е. Г., Рукин М. В., Шелемба И. С., Вожаков И. С., Чеверда В. В.* Автоматическое обнаружение неисправных роликов ленточных конвейеров волоконно-оптическим тепловым датчиком ТОРЕКС // Горная промышленность. — 2020. — № 4. — С. 54–57.

18. *Hoff H.* Using distributed fibre optic sensors for detecting fires and hot rollers on conveyor belts / 2nd International Conference for Fibre-optic and Photonic Sensors for Industrial and Safety Applications (OFSIS). Australia, 2017, pp. 70–76. DOI: 10.1109/OFSIS.2017.9.

19. Litton C. D., Perera I. E. Evaluation of criteria for the detection of fires in underground conveyor belt haulageways // *Fire Safety Journal*. 2012, vol. 51, pp. 110–119. DOI: 10.1016/j.firesaf.2012.04.004.

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

21. 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: 10.1177/07349041211056343. **PMAS**

REFERENCES

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

2. 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.

3. 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.

4. Babenko A. G., Yutyayev E. P. Risk-oriented coal mine management with using multi-functional safety systems. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019, no. S6, pp. 9–20. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-4-6-9-20.

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

6. 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.

7. 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.

8. Dmitrieva V. V., Avkhadiyev I. F., Sizin P. E. Use of advance hardware/software in multiple conveyor system automation. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 2, pp. 150–163. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-2-0-150-163.

9. Dmitrieva V. V. Modern tasks of automation of the tape conveyor transport. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2013, no. S1, pp. 281–286. [In Russ].

10. Vyaltsev A. V., Frolov A. V. The probabilistic approach to developing the technique of fire occurrence risk estimation from friction at belt conveyor driving drum slippage. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2009, no. S12, pp. 125–128. [In Russ].

11. Malashkina V. A., Lobanov A. V. Automated fire control system in coal mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2008, no. S6, pp. 232–237. [In Russ].

12. Shaportov A. V. Basic ways of fire detection on belt conveyors at mining enterprises. *Aktual'nye problemy nedropol'zovaniya: Tezisy dokladov XIX Vserossiyskoy konferentsii-konkursa studentov i aspirantov* [Topical issues of rational use of natural resources. Abstracts of the XIX All-Russian conference-competition of students and postgraduates], Saint-Petersburg, 2021, pp. 81–85.

13. Yurchenko V. M. On the problem of fire safety belt conveyors. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2016, no. 2, pp. 134–144. [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. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2018, vol. 189, no. 4, article 042028. DOI: 10.1088/1755-1315/189/4/042028.
15. 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. DOI: 10.1080/15567036.2020.1823527.
16. Li R., Yang X., Liu T., Zhang S., Wang J., Hou M., Grattan K. T. V., Sun T. Application of fiber optic sensors for vibration and ignition monitoring of a belt conveyor system. *SPIE Proceedings*, 2019, vol. 11340. *AOPC 2019: Optical Fiber Sensors and Communication*. DOI: 10.1117/12.2548165.
17. Saydulin E. G., Rukin M. V., Shelemba I. S., Vozhakov I. S., Cheverda V. V. Automatic detection of faulty conveyor belt rollers using torex fibre optic thermal sensor. *Russian Mining Industry*. 2020, no. 4, pp. 54 – 57. [In Russ].
18. Hoff H. Using distributed fibre optic sensors for detecting fires and hot rollers on conveyor belts. *2nd International Conference for Fibre-optic and Photonic Sensors for Industrial and Safety Applications (OFSIS)*. Australia, 2017, pp. 70 – 76. DOI: 10.1109/OFSIS.2017.9.
19. Litton C. D., Perera I. E. Evaluation of criteria for the detection of fires in underground conveyor belt haulageways. *Fire Safety Journal*. 2012, vol. 51, pp. 110 – 119. DOI: 10.1016/j.firesaf.2012.04.004.
20. 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].
21. 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.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Шапортов Андрей Владимирович – аспирант,
НИТУ «МИСиС», e-mail: shaportov.andrei@yandex.ru,
ORCID ID: 0000-0001-6931-6140.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

A.V. Shaportov, Graduate Student,
e-mail: shaportov.andrei@yandex.ru,
ORCID ID: 0000-0001-6931-6140,
National University of Science and Technology «MISIS»,
119049, Moscow, Russia.

Получена редакцией 26.04.2022; получена после рецензии 30.05.2022; принята к печати 10.06.2022.
Received by the editors 26.04.2022; received after the review 30.05.2022; accepted for printing 10.06.2022.

