

УДК 614.841.345:622.647.2 – 418.036

Л.С. Беляева, канд. хим. наук, завотделом, А.В. Бондаренко, канд. хим. наук, ведущий науч. сотр., И.Н. Непочатых, науч. сотр. НИИГД «Респиратор», Е.Н. Пастернак, канд. хим. наук, доц. Донецкого национального университета, Донецк

АНАЛИЗ ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ ПОЖАРООПАСНОСТИ КОНВЕЙЕРНЫХ ЛЕНТ ДЛЯ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

L.S. Belayeva, Cand Sci. (Chem.), department head, A.V. Bondarenko, Cand Sci. (Chem.), senior research assistant, I.N. Nepochatykh, research assistant (NIIGD "Respirator", Donetsk), Ye.N. Pasternak, Cand. Sci. (Chem.), Assoc. Prof. (Donetsk National University, Donetsk)

ANALYSIS OF THE CURRENT STATE OF THE CONVEYOR BELTS FIRE HAZARD FOR COAL MINES

Цель. Анализ состояния показателей пожарной опасности конвейерных лент на основе экспериментальных данных с применением методов математической статистики.

Методика. Лабораторное определение показателей пожарной опасности, дериватографическое исследование композиционного материала лент, статистический анализ полученных экспериментальных данных.

Результаты. Проведен анализ текущего состояния пожарной опасности конвейерных лент на основе лабораторных результатов определения группы горючести, кислородного индекса и горючести в пламени газовой горелки с использованием данных дериватографического исследования композиционного материала лент. Приведены результаты статистического анализа качества конвейерных лент.

Научная новизна. Полученные результаты проанализированы с учетом новейших нормативных документов, учитывающих дифференцированные требования к показателям пожарной опасности конвейерных лент.

Практическая значимость. Полученные данные показывают тенденцию к улучшению качественных и количественных характеристик конвейерных лент по показателям пожарной опасности.

Ключевые слова: конвейерная лента, пожароопасность, группа горючести, кислородный индекс, горючесть в пламени газовой горелки, дериватография, статистический анализ.

Постановка проблемы. Безаварийную работу угольных шахт во многом определяет эффективность системы мероприятий, направленных на повышение пожарной опасности веществ, материалов и изделий, применяемых при подземных работах. В значительной степени это также зависит от разработки и активного внедрения национальных стандартов, гармонизированных с международными нормативными документами и учитывающих современные тенденции дифференцированного подхода к анализу рисков возникновения опасных ситуаций. При этом значительная роль в обеспечении пожарной безопасности в шахтах принадлежит контролю качества конвейерных лент — изделиям, имеющим значительные продольные размеры и соответственно большую массу.

Обобщение и систематизация данных о конвейерных лентах, исследованных в НИИГД в 2010 – 2014 гг., позволит оценить нынешнее состояние их пожароопасности, проанализировать наметившиеся тенденции по улучшению их качества и выявить возможные пути дальнейшего совершенствования.

Анализ последних достижений и публикаций. Детальный анализ основных характеристик конвейерных лент изложен в работе [1]. Результаты проведенных в НИИГД исследований таких параметров пожароопасности, как горючесть в пламени газовой горелки, кислородный индекс, группа трудногорючих и горючих твердых веществ и материалов, концентрация вредных веществ в продуктах горения и термодеструкции, полигонные исследования по распространению пламени по поверхности ленты представлены в работах [2-5]. Для исследования процесса горения и термодеструкции материала конвейерных лент были применены методы дериватографии [2]. С другой стороны, в литературе для анализа качества производимой продукции широко используют методы математической статистики, а также положения и принципы Всеобщего управления качеством – ВУК (Total Quality Management, TQM) [6].

Цель исследования. Проведение анализа современного состояния показателей пожароопасности конвейерных лент на основе накопленного НИИГД «Респиратор» большого объема экспериментальных данных с применением методов математической статистики.

Материалы и результаты исследований. Для уточнения особенностей процесса термоокислительной деструкции композиционного материала конвейерных лент провели их дериватографическое изучение (дериватограф Q – 1500 Д, диапазон температур от 20 до 817 °С, скорость нагревания 20 °С/мин, газовая среда – воздух). Результаты проведенного исследования конвейерной ленты, изготовленной в 2013 г. из трудногорючего материала, показаны на рис. 1.

На рис. 1 представлены в указанных на графике координатах обработанная термогравиметрическая кривая (ТГ), показывающая относительную потерю массы образца m , %, от температуры и дифференциальная термогравиметрическая кривая (ДТГ), характеризующая скорость потери массы образца от температуры, взятая из экспериментальной дериватограммы. На рис. 1 явно виден сложный характер термогравиметрической кривой, на которой можно выделить пять линейных участков. По кривой ТГ определим термостабильность (термостойкость) рассматриваемого материала, которая может быть охарактеризована температурой начала разложения ($T_n = 150$ °С), а также температурами $T_{10} = 284$ °С; $T_{20} = 333$ °С и $T_{50} = 397$ °С, при которых происходит потеря 10, 20 и 50 % исходной массы материала ленты соответственно. После достижения T_n начинается процесс потери массы ($\Delta m = 4,7$ % в интервале температур от 150 до 190 °С). На дифференциальной термогравиметрической кривой при температуре 159 °С наблюдается высокий узкий пик. Наиболее интенсивная потеря массы образца ленты происходит в

интервале температур от 320 до 450 °С, достигающая 63,0 % при 450 °С при общей потере массы в этом интервале $\Delta m = 47,2$ %. В этом же температурном диапазоне на дифференциальной термогравиметрической кривой у рассматриваемого образца зафиксирован широкий бимодальный пик, свидетельствующий о процессе пиролиза и термоокислительной деструкции основного полимерного материала ленты. При температуре 800 °С общая потеря массы материала ленты составляет 78,9 % (коксовый остаток 21,1 %). Следовательно, одной из основных задач по повышению пожарной безопасности конвейерных лент является обеспечение их термической устойчивости к кратковременному воздействию малокалорийных источников теплоты в интервале температур 150...300 °С.

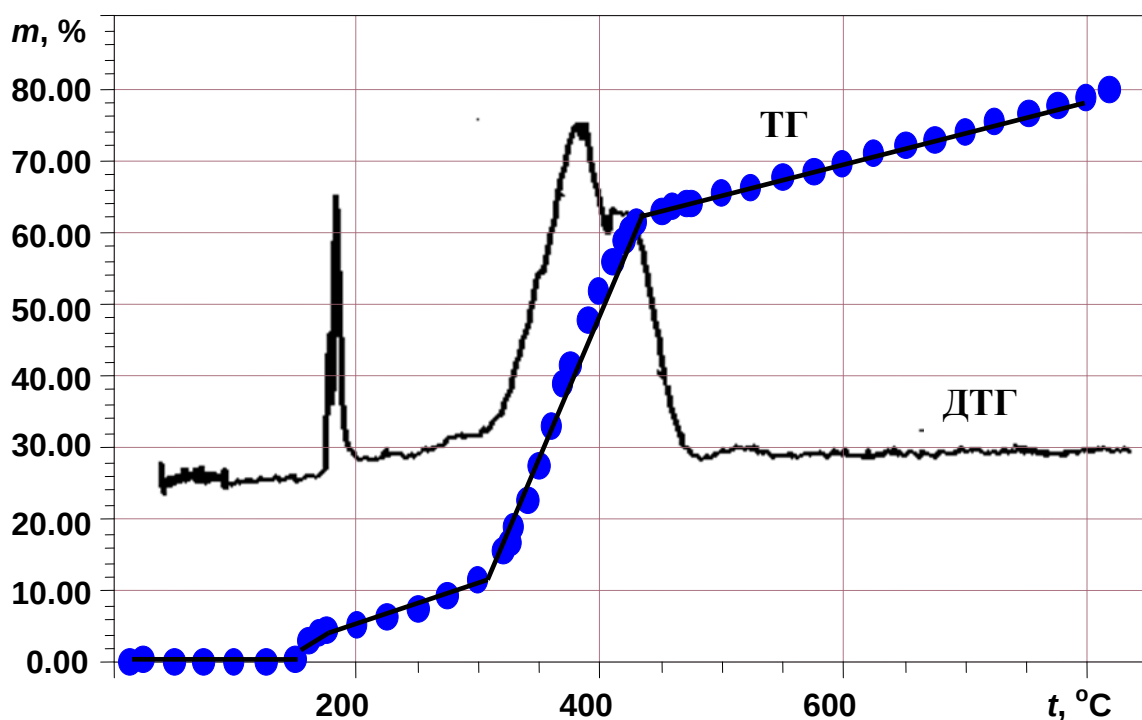


Рис. 1. Результаты дериватографического исследования образца конвейерной ленты, изготовленной из трудногорючего материала

Полученные НИИГД в 2010 – 2014 гг. результаты проанализируем с применением методов математической статистики в рамках действующих национальных стандартов [7, 8] на примере таких показателей, как группа горючести, кислородный индекс, горючесть в пламени газовой горелки.

Группу горючести устанавливают по значениям максимальных приращений температуры и потери массы. Необходимо отметить, что практически все испытанные в 2010 – 2014 гг. конвейерные ленты по группе горючести относятся к категории «трудногорючие». Это означает, что максимальная температура газообразных продуктов горения материала не превышала 260 °С, а потеря массы – не больше 60 %. Установленные

показатели группы горючести в полной мере отвечают требованиям к применяемым в горных выработках шахт конвейерным лентам, изготовленным из трудногорючих и горючих трудновоспламеняемых материалов.

Проанализируем данные по определению такого важного параметра пожарной опасности, как кислородный индекс. Этот показатель, устанавливающий минимальную объемную долю кислорода в кислородно-азотной газовой смеси, которая обеспечивает свечеообразное горение материала в стандартных условиях, широко применяется для контроля горючести твердых веществ и материалов в исследовательских, сертификационных, арбитражных и идентификационных целях. Результаты определения кислородного индекса у 64 образцов конвейерных лент, которые были испытаны в 2010 – 2013 гг., показаны на рис. 2.

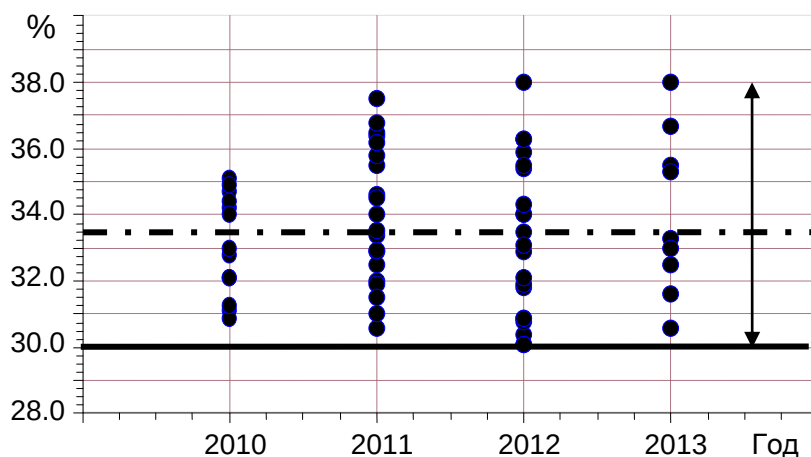


Рис. 2. Распределение образцов конвейерных лент по значению кислородного индекса, %

Как видно из рис. 2, кислородный индекс материала всех испытанных конвейерных лент выше 30 % (указан прямой линией) и имеет размах варьирования от 30,1 до 38,0 % (указан стрелкой). Это полностью отвечает требованиям действующего стандарта, где сказано, что кислородный индекс материала конвейерных лент не может быть меньше 27 %, и введенного в действие с 1 января 2014 г. стандарта, в соответствии с которым этот показатель не может быть меньше 27 % (горючие трудновоспламеняемые материалы) и меньше 30 % (трудногорючие материалы). Более детальную информацию о статистических характеристиках распределения кислородного индекса получим на основе данных интервального вариационного ряда (при восьми выделенных интервалах) для 64 образцов конвейерных лент отдельно для каждого года и суммарные показатели за 2010 – 2013 гг. (табл. 1).

Как видно из табл. 1 существенного различия в значениях центра распределения (взвешенной оценки среднего арифметического) кислородного индекса не наблюдается (на рис. 2 штрихпунктирной линией указано его

среднее значение за четыре года). Что касается среднего квадратичного отклонения σ , то наименьшее его значение (1,09 %) было отмечено в 2010 г.

Таблица 1

Результаты расчета статистических характеристик распределения образцов конвейерных лент по значению кислородного индекса

Год; количество лент n	Статистические характеристики					
	Центр распреде- ления (среднее значение) $\bar{x}$	Среднее квадрати- ческое отклоне- ние σ	Коэффи- циент скошен- ности (асиммет- рия) $k_{ск}$	Коэффи- циент островер- шинности (экцесс) E_x	Отноше- ние «сигнал / шум» $\bar{x} / \sigma$	Коэффи- циент вариации $(\sigma / \bar{x}) \cdot 100, \%$
2010; 13	33,1	1,44	-0,08	-1,08	22,95	4,36
2011; 20	33,8	2,15	0,055	-1,26	15,73	6,36
2012; 22	33,2	2,22	0,279	-1,13	14,92	6,70
2013; 9	33,8	2,16	0,095	-1,15	15,66	6,38
2010-2013; 64	33,5	2,09	0,22	-0,99	16,03	6,24

Отметим тот факт, что показатель асимметрии $k_{ск}$ только в одном случае имеет отрицательное значение $k_{ск} = -0,08 < 0$ (это случай левосторонней асимметрии, когда левая ветвь кривой распределения относительно его центра будет длиннее). Это свидетельствует о том, что в распределении конвейерных лент по показателю кислородного индекса чаще представлены ленты со значениями этого индекса ниже среднего значения 33,5 %. Во всех остальных случаях $k_{ск} > 0$, что говорит о доминировании конвейерных лент с кислородным индексом больше 33,5 %. Показательной для анализа распределения конвейерных лент по кислородному индексу является также такая статистическая характеристика, как эксцесс. Его отрицательное значение во всех случаях (это так называемый плосковершинный эксцесс) указывает на то, что вершина кривой распределения находится ниже кривой нормального распределения. При этом в центре распределения наблюдается образование впадин, наличие двух, трех пиков. Другими словами, эти данные свидетельствуют о том, что у производителей конвейерных лент еще не выработана окончательная политика относительно оптимального значения кислородного индекса. Поэтому и прослеживается довольно значительный размах вариации этого показателя пожарной опасности (см. рис. 2) в сторону его больших значений (кроме 2010 г.). Кстати, наибольшее значение кислородного индекса (49,7 %) и самый большой размах его вариации (от 30,0 до 49,7 %) у конвейерных лент за все годы его определения в НИИГД

«Респиратор» (а это 1984 – 2014 гг.) были зафиксированы в 2000 г. Для характеристики статистического распределения используем также предложенный Тагучи параметр «сигнал-шум», под которым понимают отношение среднего значения (сигнал – С) к среднему квадратическому отклонению (шум – Ш) [6]. Отношение С/Ш (см. табл. 1) интерпретируют следующим образом – чем больше это значение, тем лучше качество. В рассматриваемом случае увеличение отношения С/Ш будет свидетельствовать о выборе оптимального значения кислородного индекса и существенном снижении размаха вариации. Значение коэффициента вариации (см. табл. 1) показывает, что кислородный индекс у всех 64 образцов конвейерных лент колеблется в среднем на 6,24 % по отношению к его среднему значению.

Рассмотрим распределение образцов конвейерных лент по воспламеняемости (горючести в пламени газовой горелки). При этом особое внимание обратим на выполнение положений стандарта [8], который введен с 1 июля 2013 г. Именно в этом нормативном документе впервые в отечественной практике установлены классы безопасности конвейерных лент, применяемых в подземных условиях, и дифференцированные требования к показателям пожарной опасности конвейерных лент (табл. 2).

Таблица 2

Условия применения и требования к показателю воспламеняемости
(горючести в пламени газовой горелки) конвейерных лент

Класс	Условия применения конвейерных лент в шахтной среде	Воспламеняемость (горючесть в пламени газовой горелки)	
		Сумма времени самостоятельного горения шести испытываемых образцов, с	Максимальное время самостоятельного горения одного из шести испытываемых образцов, с
A	Общее применение в местах, где единственной опасностью является ограниченность доступа и средств спасения	45	15
B1*	Как для класса A, но есть еще потенциально воспламеняемая среда	45	15
B2*		45	15
C1*	Как для класса B1, но есть еще воспламеняемая пыль или транспортированный материал	18/30**	10/15**
C2*		45	15
* Классы B2 и C2 отличаются от классов B1 и C1 наличием в горных выработках вторичных защитных устройств, таких, как системы пожаротушения, пожарной сигнализации и т.д.			
** Значения показателя воспламеняемости указаны для испытаний образцов конвейерных лент с обкладками и без обкладок соответственно			

Входной контроль 1006 бухт конвейерных лент был осуществлен на газовой горелке в 2010 – 2014 гг. Для этого из фрагмента конвейерной ленты вырезали шесть образцов с неповрежденными обкладками и шесть образцов, в которых срезали верхнюю обкладку, тем самым имитируя возможный износ материала ленты в ходе эксплуатации.

Результаты экспериментальных испытаний образцов конвейерных лент по продолжительности времени самостоятельного горения после удаления пламени газовой горелки были обработаны следующим образом. Для всех испытанных образцов находили значения доли повторяемости при разных способах определения промежутка времени самостоятельного горения (суммарного времени для шести образцов и максимального времени горения

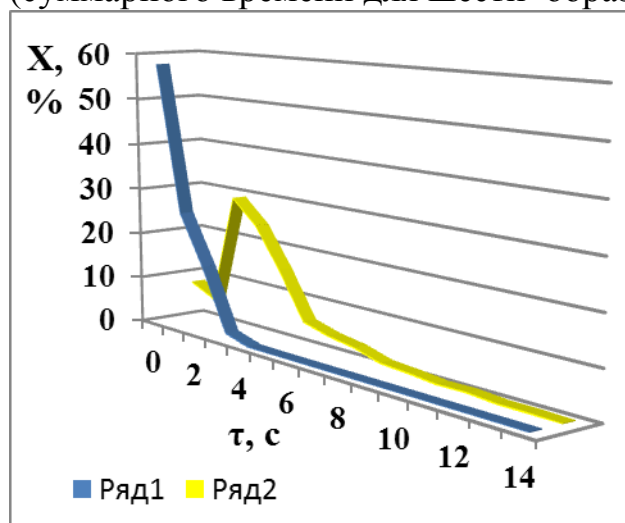


Рис. 3. Доля повторяемости (X, %) максимального времени самостоятельного горения (τ , с) одного из шести испытываемых образцов конвейерной ленты с обкладками (ряд 1) и без обкладок (ряд 2)

одного из шести образцов) с обкладками и без обкладок в интервалах от 0 до 45 с и от 0 до 15 с соответственно, начиная с 0 с и шаге 1 с. Пример такой обработки результатов показан на рис. 3 для определения максимального времени горения одного из шести испытанных образцов после удаления пламени горелки с обкладками и без обкладок.

Наибольшая доля повторяемости (57,7 %) наблюдается для образцов с обкладками (рис. 3, ряд 1), которые после удаления горелки самостоятельно не горят. Далее доля образцов, которые продолжают самостоятельно гореть, резко уменьшается и после третьей секунды их горение уже не зафиксировано.

У образцов без обкладок (рис. 3, ряд 2) характер зависимости имеет экстремальный характер – при $\tau = 0$ это 8,0 %, а максимальное значение у таких образцов (29,1 %) зарегистрировано на второй секунде самостоятельного горения. Постепенно доля образцов лент без обкладок, горящих самостоятельно, уменьшается и после $\tau = 13$ с образцов, которые продолжают самостоятельно гореть, уже нет.

Аналогичным образом были обработаны данные по суммарному времени горения шести испытываемых образцов конвейерных лент (рис. 4). В этом случае время горения $\tau = 0$ с имеют 59,7 % образцов с обкладками, а после $\tau = 19$ с самостоятельное горение не регистрируется. Максимум суммарного времени горения образцов без обкладок наблюдается при $\tau = 0$ с, а после $\tau = 31$ с образцов, которые горят самостоятельно, не зафиксировано.

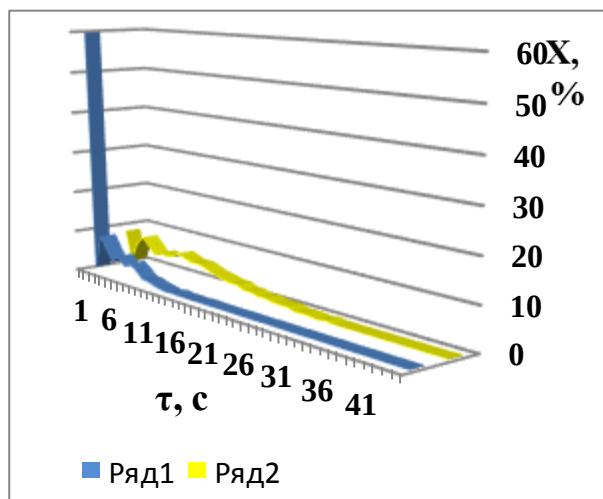


Рис. 4. Доля повторяемости (X , %) суммы времени самостоятельного горения (τ , с) шести испытуемых образцов конвейерной ленты с обкладками (ряд 1) и без обкладок (ряд 2)

Результаты проведенных испытаний по показателю «воспламеняемость (горючесть) в пламени газовой горелки» 1006 образцов конвейерных лент показывают, что 1002 из них могут быть допущены для применения в подземных условиях угольных шахт классов А, В1, В2, С1, С2 и только четыре образца лент не могут быть применены в выработках класса С1 – то есть в выработках с воспламеняющейся средой и угольной пылью, которые не оборудованы системами пожаротушения и пожарной сигнализации и т.п. Таким образом, практически все испытанные образцы конвейерных лент могут быть допущены к применению в подземных выработках угольных шахт и способны обеспечить необходимый уровень безопасности в сложных условиях горных выработок шахт.

Выводы. Проведенный статистический анализ данных испытаний свидетельствует об улучшении показателей пожарной безопасности испытанных конвейерных лент за рассматриваемый период времени. Наличие определенной тенденции к небольшому уменьшению показателей пожаробезопасности при срезании обкладок указывает на потенциальную возможность снижения этих характеристик и в результате абразивного действия транспортированного груза, трения на оборудовании и т.д. Следовательно, одна из главных задач по повышению качества конвейерных лент – это обеспечение постоянства характеристик, и в первую очередь параметров пожарной безопасности, на весь гарантированный период их эксплуатации, повышение стойкости к воздействию низкокалорийных источников теплоты. Безусловно, все эти меры могут оказаться неэффективными при отсутствии современных средств контроля состояния конвейерной ленты, обнаружения отклонений параметров обычного режима ее эксплуатации, гибкой системы автоматического пожаротушения.

Список литературы / References

1. Конвейерные ленты / Ф.А. Махлис, И.И. Леонов, О.Г. Карбасов, В.В. Никитин. – М.: Химия, 1991. – 184 с.
Makhlis, F.A., Leonov, I.I., Karbasov, O.G. and Nikitin, V.V. (1991), *Konveiernye lenty* [Conveyor belts], Khimiia, Moscow, Russia.
2. Чумак О.С. Параметри пожежонебезпеки конвеєрних стрічок для вугільних шахт – деякі висновки з роботи сертифікаційного центру / О.С. Чумак, Л.С. Беляєва, О.В. Бондаренко // Хімічна промисловість України. – 2000. – № 6. – С. 53 – 57.
Byelyayeva, L.S., Bondarenko, O.V. and Chumak, O.S. (2000), *Parametry pozhezhonebezpeky konveiernykh strichok dlia vugilnykh shakht - deiaki vysnovky z roboty sertyfikatsiinogo tsentru* [Safety parameters of conveyor belts for coal mines – some findings of the work of the certification centre], *Chimichna promyslovist Ukrainy*, no. 6, pp. 53 – 57.
3. Беляєва Л.С. Кислородный индекс в системе показателей пожароопасности конвейерных лент/ Л.С. Беляєва, А.В. Бондаренко, А.С. Чумак // Уголь Украины. – 2001. – № 6. – С. 37 – 38.
Belayeva, L.S., Bondarenko, A.V. and Chumak, A.S. (2001), *Kislородnyi indeks v sisteme pozharoopasnosti konveernykh lent* [Oxygen index in the fire safety system of conveyor belts], *Ugol Ukrainy*, no. 6, pp. 37 – 38.
4. Определение показателей тепловыделения при термоокислительной деструкции полимерных композиционных материалов для угольных шахт на основе метода ОТМ / Л.С. Беляєва, А.В. Бондаренко, И.Н. Непочатых, А.С. Чумак // Горноспасательное дело: сб. науч. тр./ НИИГД «Респиратор». – Донецк, 2007. – Вып. 44. – С. 33 – 39.
Belayeva, L.S., Bondarenko, A.V., Nepochatykh, I.N. and Chumak, A.S. (2007), *Opredelenie pokazatelei teplovydeleniia pri termookislitelnoi destruktсии polimernykh kompositsionnykh materialov dlia ugolnykh shakht na osnove metoda OTM* [Determination of the heat release indices by the heat oxidation decomposition of polymeric composites for coal mines on the basis of the OTM method], NIIGD “Respirator”, Donetsk, Ukraine.
5. Выделение хлорида водорода при горении шахтных конвейерных лент / Л.С. Беляєва, А.В. Бондаренко, А.В. Ревякин, О.А. Жадан // Горноспасательное дело: сб. науч. тр./ НИИГД «Респиратор». – Донецк, 2006. – Вып. 43. – С. 59 – 64.
Belayeva, L.S., Bondarenko, A.V., Revyakin, A.V. and Zhadan, O.A. (2006), *Vydelenie khlorida vodoroda pri gorenii shakhtnykh konveernykh lent* [Release of hydrogen chloride by the burning of mine conveyor belts], NIIGD “Respirator”, Donetsk, Ukraine.
6. Статистичні методи забезпечення якості продукції. Навчально-методичний посібник / упорядник О. Цициліано. – К.: УкрНДНЦ, 2005. – 48 с.

Tsytsyliano, O. (2005), *Statystychni metody zabezpechennia iakosti produktsii. Navchalno-metodychnyi posibnyk* [Statistical methods of guaranteeing the quality of products. Educational and methodological handbook], UkrNDNC, Kiev, Ukraine.

7. Стрічки конвеєрні для підземного устаткування. Вимоги щодо електричної та пожежної безпеки: ДСТУ EN 14973:2012.

ДСТУ EN 14973:2012, *Strichky konveierni dlia pidzemnogo ustatkuvannia. Vymogy shtchodo elektrychnoi ta pozhezhnoi bespeky* [Conveyor belts for use in underground installations - Electrical and fire safety requirements].

8. Стрічки конвеєрні гумотканинні шахтні. Загальні технічні умови: ДСТУ 7306:2013.

ДСТУ 7306:2013. *Strichky konveierni gumotkanni shakhtni. Zagalni tekhnichni umovy* [Mine rubber-textile conveyor belts. General technical requirements].

Рекомендовано к публикации канд. техн. наук Е.В. Курбацким.
Дата поступления рукописи 20.05.2014

Ціль. Аналіз стану показників пожежонебезпеки конвеєрних стрічок на основі експериментальних даних із застосуванням методів математичної статистики.

Методика. Лабораторне визначення показників пожежонебезпеки, дериватографічне дослідження композиційного матеріалу стрічок, статистичний аналіз отриманих експериментальних даних.

Результати. Проведено аналіз поточного стану пожежної безпеки конвеєрних стрічок на основі лабораторних результатів визначення групи горючості, кисневого індексу і горючості в полум'ї газового пальника з використанням даних дериватографічного дослідження композиційного матеріалу стрічок. Приведено результати статистичного аналізу якості конвеєрних стрічок.

Наукова новизна. Отримані результати проаналізовані на основі новітніх нормативних документів, що враховують диференційовані вимоги до показників пожежонебезпеки конвеєрних стрічок.

Практична значущість. Отримані дані показують тенденцію до поліпшення якісних і кількісних характеристик конвеєрних стрічок за показниками пожежонебезпечності.

Ключові слова: конвеєрна стрічка, пожежонебезпека, група горючості, кисневий індекс, горючість у полум'ї газового пальника, дериватографія, статистичний аналіз.

Purpose. Analysis of the state of the fire hazard indices of the conveyor belts on the basis of experimental data with the use of the mathematical statistics methods.

Methodology. Laboratory determination of the fire hazard indices, derivatographic investigation of a composition material of the belts, statistical analysis of the experimental data received.

Results. The analysis of the current state of the conveyor belts fire hazard has been carried out on the basis of the laboratory results of determination of combustibility group, oxygen index and combustibility in the flame of the gas burner with the use of the data of the derivatographic investigation of the composition material of the belts. The results of the statistical analysis of the conveyor belts quality are adduced.

Scientific novelty. The results received are analyzed with due regard for the newest normative documents taking into account the differentiated requirements to the fire hazard indices of the conveyor belts.

Practical value. The data received show the tendency to improvement of the qualitative and quantitative characteristics of the conveyor belts according to the fire hazard indices.

Keywords: conveyor belt, fire hazard, combustibility group, oxygen index, combustibility in the flame of the burner, derivatography, statistical analysis.