

ОБМЕН ОПЫТОМ, ПРОБЛЕМЫ И СУЖДЕНИЯ

УДК 621.315.616

Г.И. Смелков, гл. науч. сотр., д-р техн. наук, проф., А.И. Рябиков, нач. отд. (ФГУ ВНИИПО МЧС России), В.И. Ильин, нач. отд. (ООО «Русское горно-химическое общество»), Т.М. Дмитриева, ст. науч. сотр. (ФГУ ВНИИПО МЧС России)

СНИЖЕНИЕ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ КАБЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ С ИЗОЛЯЦИЕЙ И ОБОЛОЧКАМИ ИЗ ПВХ МАТЕРИАЛОВ

Рассмотрено влияние на пожарную опасность кабельных изделий срока их службы и условий эксплуатации. Срок службы кабельных изделий зависит от степени старения изоляционных полимерных материалов. О достижении критического состояния изоляции, характеризующего степень ее старения, судят по величине показателя относительного удлинения образца исследуемого материала или по снижению в материале концентрации пластификатора до величины ниже предельного уровня. Установлено, что создать методику оценки влияния старения кабельных изделий на их пожарную опасность в настоящее время не представляется возможным. Предлагается использовать косвенную оценку этой взаимосвязи путем мониторинга механических характеристик изоляционных полимеров в ходе их старения и сравнение данных по вероятности электрического пробоя новых и состаренных в ходе эксплуатации материалов.

Ключевые слова: *кабельные изделия, пожарная опасность, срок службы кабельных изделий.*

Как свидетельствуют статистические данные, ежегодно в России в результате нарушения правил устройства и эксплуатации (НПУиЭ) электрических изделий происходит более 40 тыс. пожаров, что составляет 20–25 % от общего числа пожаров по стране. Такое же соотношение характерно и для многих промышленно развитых стран мира, при этом наибольшее количество пожаров традиционно возникает в кабельных линиях и электропроводах. Так, в России в 2009 г. в результате НПУиЭ кабельных изделий (ИК) произошло 27 920 пожаров (63,1 % от общего числа пожаров, возникших из-за НПУиЭ всей электротехнической продукции), прямой ущерб от этих пожаров превысил 74 %, а количество погибших людей составило более 40 % от общих показателей по пожарам от электротехнических изделий (табл. 1).

Из статистически учитываемых причин пожаров, связанных с НПУиЭ электрокабелей и проводов, наибольшее количество составили:

- недостатки конструкции и изготовления – 3 555;
- нарушение правил монтажа – 7 597;
- нарушение правил технической эксплуатации – 8 213.

По видам объектов больше всего рассматриваемых пожаров зарегистрировано:

- в жилом секторе – 20 246;
- на торговых объектах – 1 075;
- транспорте – 3 664.

Эти данные подтверждают актуальность проблемы, связанной с необходимостью изучения и снижения пожарной опасности кабельных линий и электропроводок.

В подавляющем большинстве случаев причинами и обстоятельствами возникновения пожаров, связанных с электротехническими, в том числе кабельными изделиями, являются:

- недостатки конструкции и изготовления;
- несовершенство нормативных требований;
- ошибки на стадии проектирования кабельных линий;
- некачественный монтаж;
- низкий уровень эксплуатации и др.

Таблица 1

Статистические данные о пожарах, возникших из-за НПУиЭ электроизделий в 2009 г.

Наименование электроизделия	Пожары		Прямой ущерб, тыс. р.		Погибло людей	
	Абсолютное число	Доля в общем числе пожаров, возникших из-за НПУиЭ электроизделий, %	Абсолютное число	Доля в общем ущербе от пожаров, возникших из-за НПУиЭ электроизделий, %	Абсолютное число	Доля в общем числе погибших при пожарах, возникших из-за НПУиЭ электроизделий, %
Кабель, провод	27 920	63,1	2 614 215	74,8	824	40,1
Видеомагнитофон	52	0,1	1 231	0,0	7	0,3
Электроутюг	111	0,2	2 369	0,1	2	0,1
Кондиционер	112	0,3	3 130	0,1	4	0,2
Электрозвонок	143	0,3	3 270	0,1	2	0,1
Электродвигатель	162	0,4	11 312	0,3	1	0,0
Магнитофон	172	0,4	16 207	0,4	9	0,4
ЭВМ, оргтехника	224	0,5	16 431	0,5	3	0,2
Выключатель	326	0,7	13 146	0,4	5	0,2
Электробытовая машина	351	0,8	5 435	0,2	4	0,2
Трансформатор, стабилизатор	423	1,0	21 985	0,6	11	0,5
Электроинструмент	520	1,2	41 912	1,2	3	0,2
Телевизор	807	1,8	27 583	0,8	63	3,1
Электроосветительный прибор	1 026	2,3	101 735	2,9	34	1,7
Плита электрическая	1 036	2,3	54 535	1,6	226	11,0
Холодильник	1 216	2,7	94 272	2,7	41	2,0
Вводной щит	2 905	6,6	119 431	3,4	64	3,1
Установочные изделия	3 211	7,3	174 149	5,0	101	4,9
Электрокамин	3 535	8,0	170 734	4,9	651	31,7
Итого по электроизделиям	44 252	100,0	3 493 082	100,0	2 055	100,0

В рамках данной статьи применительно к кабельным изделиям заслуживают внимания выполненные авторами совместно с сотрудниками ООО «ВНИИКП» [1] исследования влияния на пожарную опасность ИК условий эксплуатации и срока их службы.

Не вызывает сомнений тот факт, что пожарная опасность ИК в значительной степени зависит от старения электроизоляции. Но как конкретно проявляется эта зависимость при реальной эксплуатации, и имеются ли методы и пути ее прямого контроля? Эти вопросы изучены недостаточно, а поиск ответов на них весьма актуален и представляет несомненный интерес.

В процессе исследований решались следующие задачи:

- рассматривались процессы старения электроизоляционных материалов с точки зрения влияния их на изменение механических характеристик (эластичности, прочности, хрупкости) изоляции;
- анализировалось влияние условий эксплуатации на срок службы ИК и устанавливался предельный срок службы, при достижении которого необходима замена ИК;
- изучалось влияние срока службы (степени старения изоляции) ИК на их пожарную опасность.

Логичность постановки этих задач на начальном этапе исследований не вызывала никакого сомнения. Однако проведенная работа показала, что прямой контроль и методика оценки степени влияния срока эксплуатации кабелей на их пожарную опасность отсутствуют. Можно говорить лишь о наличии косвенных методов.

О достижении критического состояния изоляции судят либо по показателю относительного удлинения исследуемого материала $\varepsilon_{отн}$ в процессе испытаний по ГОСТ Р МЭК 60811-1-1-98 [2], либо (для ПВХ материалов) по снижению в материале концентрации пластификатора $C_{пл}$ (при испытаниях по РД 16.К00-006-99) [3] до предельного уровня или ниже:

13 % – для композиций с содержанием минерального наполнителя до 20 %;

11 % – для высоконаполненных композиций с содержанием наполнителя более 20 % (рис. 1).



Рис. 1. Схема исследования изоляционных материалов на старение

Однако знание этих критических значений параметров характеризует, прежде всего, изменение в худшую сторону лишь механических свойств исследуемых материалов (снижение эластичности, появление хрупкости и пр.). Как показали исследования, проведенные в ФГУ ВНИИПО, значения нормируемых в соответствии с ГОСТ Р 53315-2009 [5] показателей пожарной опасности кабелей при этом или улучшаются, или остаются без изменений.

Действительно, в соответствии с ГОСТ Р 53315 пожарная опасность кабелей характеризуется пятью показателями:

- нераспространением горения;
- огнестойкостью (сохранением работоспособности);
- коррозионной активностью*;
- токсичностью*;
- дымообразованием при горении и тлении.

Анализируя изменение этих показателей в процессе старения ИК, можно констатировать следующее.

Показатели дымообразования при горении и тлении, параметры коррозионной активности и токсичности в процессе старения ИК изменяются слишком мало, поэтому они не могут характеризовать изменение пожарной опасности кабелей в процессе старения.

Огнестойкость (сохранение работоспособности ИК в условиях пожара), как правило, обеспечивается путем применения в конструкции кабеля термических барьеров из слюдосодержащих лент или изоляции из кремнийорганических резин, образующих керамический кокс при воздействии теплового потока, а также путем применения минеральной изоляции (магнезии). Перечисленные элементы конструкции огнестойкого кабеля при старении практически не изменяют своих свойств в области рабочих температур и не влияют на изменение показателя огнестойкости в процессе эксплуатации.

Горючесть, а следовательно, и способность к распространению горения основных полимерных материалов (ПВХ пластиков, резины и других наполненных полимерных композиций), используемых при изготовлении изоляции и оболочек современных типов кабельных изделий, снижается в процессе теплового старения, что обусловлено десорбцией входящих в их состав пластификаторов, которые, в свою очередь, являются наиболее горючими веществами в составе кабельных изделий.

* Показатель для продуктов горения и тления.

Рассмотрим горючесть кабельных пластикаторов как основной показатель, характеризующий их способность распространять или противостоять распространению горения, более подробно, с учетом влияния входящих в их состав полимеров, пластификаторов и антипиренов.

Любой кабельный ПВХ пластик в силу требований соответствующих стандартов к эластичности и низкотемпературным характеристикам композиций содержит пластификаторы, в той или иной степени способствующие ухудшению поведения материала при горении по сравнению с базовым полимером – поливинилхлоридом.

В процессе разработки ПВХ композиций пониженной горючести в качестве показателя, характеризующего способность материала противостоять воздействию пламени, используют кислородный индекс.

В России для ПВХ композиций пониженной горючести принят уровень кислородного индекса, равный 32, при его значении для стандартных пластикаторов 21–23.

Для повышения кислородного индекса пластифицированных диэфирными добавками композиций применяются неорганические наполнители – антипирены [6], среди которых наиболее многотоннажными являются гидроксиды алюминия $Al(OH)_3$ и магния $Mg(OH)_2$. Оба наполнителя при воздействии пламени выделяют воду, поглощая тепло. В табл. 2 приведены данные о влиянии этих и других наполнителей на величину кислородного индекса ПВХ композиций.

Из данных табл. 2 следует, что существенных различий по величинам кислородного индекса композиций, содержащих равные весовые концентрации $Al(OH)_3$ и $Mg(OH)_2$, не наблюдается в композициях с пластификаторами разной химической природы, как содержащих, так и не содержащих мел. Так что если технической задачей при разработке композиций является достижение определенной величины кислородного индекса, то решающими при выборе гидроксидов антипирена могут стать экономические соображения, т. е. цена.

Таблица 2

Влияние антипиренов-гидроксидов на кислородный индекс ПВХ композиций

Номер композиции	Содержание компонентов, мас. ч.						Кислородный индекс
	ДОФ	Фосфатный пластификатор	Термостабилизатор	Мел	$Al(OH)_3$	$Mg(OH)_2$	
1	45	–	3	70	–	–	23
2	45	–	3	35	35	–	25
3	45	–	3	35	–	35	26
4	25	25	3	70	–	–	25
5	25	25	3	–	70	–	30
6	25	25	3	–	–	70	31

Вскоре после начала промышленного применения ПВХ композиций пониженной горючести с кислородным индексом, равным 32, выявились их существенные недостатки: сильное дымообразование и выделение большого количества коррозионно-активных газов. Хлористый водород выделяется из ПВХ композиций на первой стадии его термодеструкции с полным удалением хлора из полимера [7] и образованием двойных связей:



В качестве поглотителя HCl используется мел:



Если говорить о влиянии $Al(OH)_3$ и $Mg(OH)_2$ на выделение HCl при сгорании материала, то следует иметь в виду, что $Al(OH)_3$ является амфотерным веществом, а $Mg(OH)_2$ – слабым основанием. В водной среде их константы диссоциации отличаются существенно ($1,4 \cdot 10^{-9}$ и $2,5 \cdot 10^{-3}$) [8]. Поэтому если взаимодействия $Al(OH)_3$ с HCl не происходит, то факт взаимодействия HCl, выделяющегося при термораспаде ПВХ, с $Mg(OH)_2$ доказан прямым экспериментом с помощью метода дифференциального термического анализа (ДТА) (рис. 2).

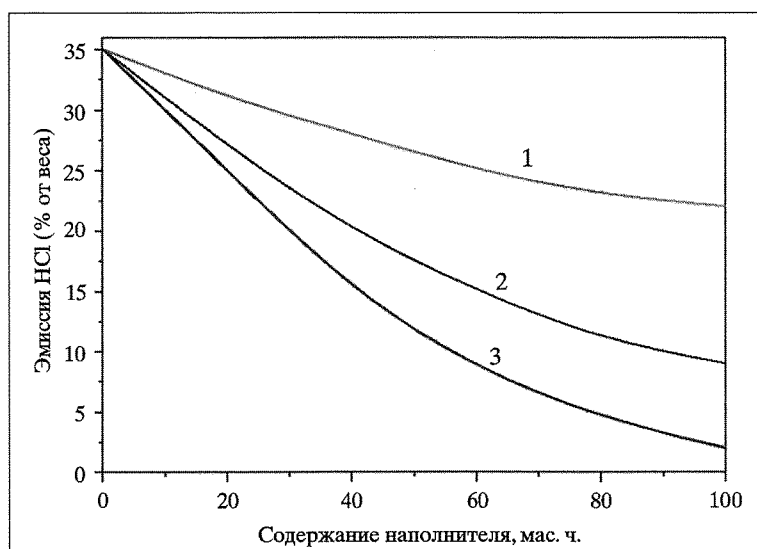


Рис. 2. Влияние различных наполнителей на эмиссию HCl из пластифицированных ПВХ соединений:

1 – гидроксид магния; 2 – натуральный мел; 3 – осажденный мел.

Состав композиции, мас. ч.: 100 – ПВХ; 60 – пластификатор; 6 – стабилизатор; от 0 до 100 – наполнитель

Рассмотрим теперь влияние гидроокисей на выделение дыма.

Экспериментальные данные [7] показывают, что дымовыделение ПВХ композиций, содержащих $Mg(OH)_2$, заметно ниже, чем у композиций с $Al(OH)_3$ (табл. 3).

Таблица 3

Данные по оптической плотности дыма для композиций, содержащих $Mg(OH)_2$ и $Al(OH)_3$ и другие компоненты

Номер композиции	Содержание компонентов, мас. ч.						Оптическая плотность дыма (ASTM E-662, режим горения)
	Фосфатный пластификатор	Диоктилфталат	Эпоксидированное соевое масло	Мел	$Al(OH)_3$	$Mg(OH)_2$	
1	30	17	8	40	–	–	300
2	30	17	8	–	40	–	200
3	30	17	8	–	–	40	140

Это легко объясняется тем, что продукт взаимодействия $Mg(OH)_2$ с HCl – $MgCl_2$ катализирует процессы сшивки полиеновых цепей, образовавшихся после отщепления HCl, что подавляет образование летучих ароматических углеводородов типа бензола и толуола, способствующих дымообразованию [7].

Таким образом, если брать в совокупности влияние $Al(OH)_3$ и $Mg(OH)_2$ на те характеристики, по которым оценивают качество кабельных композиций пониженной горючести (величину кислородного индекса, количество выделяющегося HCl, оптическую плотность дыма), то можно с уверенностью заключить, что $Mg(OH)_2$ имеет заметное преимущество перед $Al(OH)_3$.

Однако, по нашему мнению, проведенное сопоставление действия двух наполнителей-антипиренов будет недостаточным, если проигнорировать тот факт, что на сегодняшний день универсальная значимость кислородного индекса при оценке поведения материала при горении подвергнута обоснованной критике.

Поэтому для более конкретного рассмотрения проблемы можно обратиться к данным, полученным с помощью Сопе-калориметра [9], поскольку эти данные согласуются с материалами, приведенными в [6]. В табл. 4 представлены некоторые характеристики горения пластиков, определенные этим прибором.

Таблица 4

Характеристики горения пластифицированных ПВХ композиций, полученные с помощью Сопе-калориметра

Номер композиции	Содержание компонентов, мас. ч.						Пиковая скорость выделения тепла, кВт/мин	Средняя скорость выделения тепла, кВт/мин	Средняя площадь тушения, м ²	Теплота сгорания, МДж/кг
	ДОФ	ДФФ	Мел	Mg(OH) ₂	Al(OH) ₃	Sb ₂ O ₃				
1	40	–	20	–	–	–	228	146	1 198	16,9
2	40	–	20	–	–	8	191	127	1 011	11,2
3	40	–	–	20	–	8	135	104	842	10,8
4	–	40	–	20	–	–	90	83	775	11,9
5	–	30	–	–	30	–	132	76	777	11,5

При сравнении рецептур 4 и 5 (см. табл. 4) видно, что даже при меньшем содержании Mg(OH)₂ относительно содержания Al(OH)₃ и большем тепловом потоке (т. е. при более жестких условиях) композиция с Mg(OH)₂ не уступает композиции с Al(OH)₃.

Таким образом, сравнение антипиренирующего действия Mg(OH)₂ и Al(OH)₃ в ПВХ композициях пониженной горючести показывает преимущество Mg(OH)₂ как антипирена.

Преимущества Mg(OH)₂ перед Al(OH)₃ в снижении горючести полимеров, в том числе за счет более высокой энтальпии разложения (почти на 20 %), а также более высокую его термостабильность подтверждают и результаты исследований (табл. 5), выполненных в Институте химической физики имени Н.Н. Семенова РАН [10].

Одним из производителей гидроксида магния Mg(OH)₂ в нашей стране является ООО «Русское горно-химическое общество». Продукция марки Экопирен производится из отечественного сырья, добываемого на Кульдурском бруситовом месторождении, и применяется на ведущих российских предприятиях и за рубежом.

Таблица 5

Сравнение свойств гидроксидов магния и алюминия

Параметр	Mg(OH) ₂	Al(OH) ₃
Содержание воды, %	31,0	34,6
Плотность, г/см ³	2,36	2,42
Начальная температура разложения, °C	330	250
Энтальпия разложения, кал/г	328	280

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод о том, что стандартизованные в ГОСТ Р 53315 показатели оценки пожарной опасности кабельных изделий не могут быть использованы для создания методики по оценке влияния старения (срока службы) кабельных изделий на их пожарную опасность.

Остается возможность попытаться применить косвенный показатель – пробой изоляции, поскольку в ходе эксплуатации кабеля, как уже отмечалось, ухудшаются механические свойства его изоляции и, следовательно, возрастает вероятность ее повреждения, растрескивания, а значит, возникновения электрического пробоя. Но переход, в данном случае к вероятностным показателям, весьма сложен из-за стохастичности явлений совмещения процессов старения и пробоя изоляции при аварийных режимах, а также из-за отсутствия объективных статистических данных, которые связывали бы сроки службы изоляции с вероятностью их пробоя. При этом вполне понятно, что даже возникший пробой не всегда приводит к загоранию изоляции и последующему пожару.

Для решения проблемы снижения пожарной опасности кабельных изделий в соответствии с Техническим регламентом о требованиях пожарной безопасности [11] необходимо наибольшее внимание уделять пожарно-профилактическим мероприятиям, препятствующим возникновению аварий в электросетях и возникновению загорания кабельных изделий. В их число входят:

- использование кабелей, не распространяющих горение, в исполнении: нг, нг-LS, нг-HF, нг-FR, нг-LTx в соответствии с объемом горючей массы и указанной в ГОСТ Р 53315 областью применения;
- применение кабелей огнестойкого исполнения для питания систем противопожарной защиты;
- правильный выбор видов и номенклатуры аппаратов электрической защиты в кабельных линиях и электропроводах;
- использование средств пассивной защиты (огнезащитные покрытия, не распространяющая горение электропроводная погонная арматура, кабельные проходки и др.).

Библиографические ссылки

1. Прогнозирование сроков службы электрических кабелей: отчет о НИР (заключ.) / ВНИИКП; рук. Каменский М.К. М., 2006. 112 с.
2. ГОСТ Р МЭК 60811-1-1-98. Общие методы испытаний материалов изоляции и оболочек электрических кабелей. Измерение толщины и наружных размеров. Методы определения механических свойств.
3. РД 16.К00-006-99. Определение показателей долговечности кабелей и проводов с оболочкой (изоляцией) из композиций на основе поливинилхлорида.
4. ГОСТ Р МЭК 60811-1-2-2006. Общие методы испытаний материалов изоляции и оболочек электрических и оптических кабелей. Часть 1–2. Методы общего применения. Методы теплового старения.
5. ГОСТ Р 53315–2009. Кабельные изделия. Требования пожарной безопасности.
6. Уилки У., Саммерс Дж., Даниэле У. Поливинилхлорид. Спб.: Профессия, 2007. 728 с.
7. Montando G. Polymer degradation and stability 33. (1991). P. 229–262.
8. Справочник химика. Т. 3. Л.: Химия, 1964. 505 с.
9. ASTM 1354. Standard Test Method for Heat and Visible Smoke Release Rates for Materials and Products Using an Oxygen Consumption Calorimeter.
10. Влияние интумесцентных антипиренов на горючесть ПВХ пластикатов / Н.А. Халтуринский [и др.] // Химическая физика и мезоскопия. 2009. Т. 11, № 1. С. 22–27.
11. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: фед. закон Рос. Федерации от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ: принят Гос. Думой Федер. Собр. Рос. Федерации 4 июля 2008 г.: одобр. Советом Федерации Федер. Собр. Рос. Федерации 11 июля 2008 г. М.: ФГУ ВНИИПО, 2008. 157 с.

Материал поступил в редакцию 18.01.2011 г.

H.I. Smelkov, A.I. Ryabikov, V.I. Il'yin, T.M. Dmitrieva

**DECREASE IN FIRE HAZARD OF CABLE PRODUCTS WITH INSULATIONS
AND COVERS FROM PVC MATERIALS**

There are considered the effects of life cycle and operation conditions of cable products on their fire hazard. The cable products life cycle depends on ageing degree of polymeric material insulations. Value of relative lengthening parameter of an investigated material sample or a decrease in softener concentration within PVC materials to amount, which is below of a marginal level, allows to determine a critical condition of the isolation characterizing degree of its ageing. It is established that now it is impossible to develop a technique focusing on the estimation of effects of cable product ageing on their fire hazard. The indirect assessment of this interrelation by monitoring of mechanical characteristics of insulating polymers during their ageing and comparison of data relating to electric breakdown probability of new and aged during operation materials is offered to use.

Keywords: *cable products, fire hazard, cable product life cycle.*

* * *

Смелков Герман Иванович – главный научный сотрудник, доктор технических наук, профессор;
Рябиков Алексей Иванович – начальник отдела (ФГУ ВНИИПО МЧС России). Тел. (495) 521-99-73.
E-mail: fire_test_oblast@list.ru

Адрес: мкр. ВНИИПО, 12, Балашиха, Московская область, 143903, Россия;

Ильин Виталий Игоревич – начальник отдела (ООО «Русское горно-химическое общество»);
Дмитриева Татьяна Михайловна – старший научный сотрудник (ФГУ ВНИИПО МЧС России).

Smelkov Herman Ivanovich – Main Researcher, Doctor of Technical Sciences, Professor; **Ryabikov Alexey Ivanovich** – Head of Department (FGU VNI IPO EMERCOM of Russia). Phone: (495) 521-99-73.
E-mail: fire_test_oblast@list.ru

Address: mkr. VNI IPO, 12, Balashikha, Moscow region, 143903, Russia;

Il'yin Vitaly Igorevich – Head of Department (Russian Mining Chemical Company LLC);
Dmitrieva Tatiana Mikhailovna – Senior Researcher (FGU VNI IPO EMERCOM of Russia).