



Igor
A. Mirchuk
Мирчук
Игорь
Анатольевич

УДК 621.319

HALOGEN-FREE COMPOUNDS FOR WIRE AND CABLE: ADVANTAGES, FLAWS AND FEATURES OF APPLICATION

БЕЗГАЛОГЕННЫЕ КОМПОЗИЦИИ ДЛЯ КАБЕЛЬНО-ПРОВОДНИКОВОЙ ПРОДУКЦИИ: ПРЕИМУЩЕСТВА, НЕДОСТАТКИ И ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

DOI 10.15589/SMI. 2018.02.22

Igor A. Mirchuk

И. А. Мирчук, аспирант.

garik710@ukr.net

ORC ID: 0000-0002-8025-0186

*National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv
Ukraine Scientific-Research Institute of Cable Industry, Berdiansk*

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний
інститут», г. Харків*

*Український науково-дослідницький інститут кабельної промисловості,
г. Бердянськ*

Abstract. The requirements of international standards for electrical, physical, mechanical and other characteristics of polymeric materials for the insulation and sheath of power, control, instrumentation and telecommunication cables for shipboard and mobile or stationary offshore units are given. The tests result of fire hazard characteristics such as: oxygen index, coefficient of smoke emission during burning and smoldering, resistance to the vertical flame spread of vertically-mounted bunched cables, toxicity, etc. for cables and polymeric materials which used in the cable industry are shown. Due to the filling of the polymer matrix with flame retardants, halogen-free flame-retardant compounds have a higher melt viscosity than polyethylene or PVC, this must be considering during processing. Filling with flame retardants reduces physical and mechanical properties, specific volume resistivity of the polymer compound, however, improves the resistance to the flame spread and reduces smoke emission, as a separate structural polymer material, and cables in general. Based on the test results for vertical flame spread of vertically-mounted bunched cables, the important part of the ability of halogen-free flame retardant compounds is to form after burning a hard solid layer of ash, which preventing further flame propagation through the cable, is noted. Rheological, physical, mechanical properties and fire hazard characteristics of filled halogen-free compounds for insulation and sheath of cable are considered. It is shown advantages and disadvantages of halogen-free compounds in comparison with other composite materials used in cable technology, as well as their importance for producing modern fire-proof cables and wires.

Keywords: polyvinyl chloride compound; polyethylene; magnesium hydroxide; aluminum hydroxide; rheological properties; effective viscosity; shear stress; limited oxygen index; smoke coefficient; total heat release.

Анотація. Наведено вимоги міжнародних стандартів до електричних, фізико-механічних та інших характеристик полімерних матеріалів для ізоляції та оболонки кабелів силових, контрольних, керування й передачі даних, що використовуються на судах і прибережних мобільних або стаціонарних установках. Показано результати випробувань полімерних матеріалів, що застосовуються в кабельній промисловості, а також готових кабелів у низці таких пожежних характеристик, як кисневий індекс, коефіцієнт димоутворення під час горіння та тління, стійкість до поширення полум'я, вертикально розташованого пучка кабелів, токсичності та ін. Розглянуто реологічні, фізико-механічні й пожежні властивості наповнених безгалогенних композицій для ізоляції та оболонки кабелів. Унаслідок наповнення полімерної матриці антипіренами безгалогенні композиції, що не розповсюджують горіння, мають більш високу в'язкість розплаву, ніж поліетилен і ПВХ пластмаси, що необхідно враховувати під час переробки у виріб. Наповнення антипіренами призводить до зниження питомого об'ємного електричного опору полімерної композиції, зниження її фізико-механічних параметрів, однак це дозволяє підвищити стійкість до розповсюдження горіння і знизити утворення диму як

конструкційного полімерного матеріалу окремо, так і кабельної продукції в цілому. На підставі отриманих результатів випробувань на стійкість до горіння кабелів, що прокладені пучком, відзначено важливу роль здатності безгалогенних композицій, що не розповсюджують горіння, до створення твердого цілісного шару золи після згорання, який перешкоджає подальшому поширенню полум'я кабелем. Виділено переваги та недоліки безгалогенних композицій порівняно з іншими композиційними матеріалами, що використовуються в кабельній техніці, а також важливість для створення сучасних пожежобезпечних кабелів та проводів.

Ключові слова: полівінілхлоридний пластикат; поліетилен; гідроксид магнію; гідроксид алюмінію; реологічні властивості; ефективна в'язкість; напруження зсуву; кисневий індекс; коефіцієнт димоутворення; сумарне тепловиділення.

Аннотация. Приведены требования международных стандартов к электрическим, физико-механическим и другим характеристикам полимерных материалов для изоляции и оболочки кабелей силовых, контрольных, управления и передачи данных, используемых на судах и прибрежных мобильных или стационарных установках. Показаны результаты испытаний полимерных материалов, применяемых в кабельной промышленности, а также готовых кабелей по ряду таких пожарных характеристик, как кислородный индекс, коэффициент дымообразования при горении и тлении, стойкость к распространению пламени, вертикально расположенного пучка кабелей, токсичности и др. Рассмотрены реологические, физико-механические свойства и пожарные характеристики наполненных безгалогенных композиций для изоляции и оболочки кабелей. Вследствие наполнения полимерной матрицы антипиренами безгалогенные не распространяющие горение композиции имеют более высокую вязкость расплава, чем полиэтилены и ПВХ пластикаты, что необходимо учитывать при их переработке в изделие. Наполнение антипиренами приводит к снижению удельного объемного электрического сопротивления полимерной композиции, снижению её физико-механических параметров, однако это позволяет повысить стойкость к распространению горения и снизить дымовыделение как отдельного конструкционного полимерного материала, так и кабельной продукции в целом. На основании полученных результатов испытаний на стойкость к горению кабелей, проложенных пучком, отмечена важная роль способности безгалогенных не распространяющих горение материалов к образованию после сгорания твердого целостного слоя зола, препятствующего дальнейшему распространению пламени по кабелю. Выделены преимущества и недостатки безгалогенных композиций по сравнению с другими композиционными материалами, применяемыми в кабельной технике, а также их важность для создания современных пожаробезопасных кабелей и проводов.

Ключевые слова: поливинилхлоридный пластикат; полиэтилен; гидроксид магния; гидроксид алюминия; реологические свойства; эффективная вязкость; напряжение сдвига; кислородный индекс; коэффициент дымообразования; суммарное тепловыделение.

References

- [1] Chulyeyeva, O. V. (2017). *Vplyv napovnyuvachiv-antypireniv na reologichni vlastyvoli kompozycijnyh materialiv kopolimeru etylenu z vinilacetatom* [Influence of antipyrenes on the rheological properties of composite materials based on ethylene-vinyl acetate copolymer]. *Sxidno-Yevropejs'kyj zhurnalпередovyh tehnologij*, 4/1, 32–37.
- [2] DSTU 4809:2007 (2007). *Izolovani provody ta kabeli. Vymogy pozhezhnoyi bezpeky ta metody vyprobuвання* [Insulated wires and cables. Fire safety requirements and test methods]. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy.
- [3] GOST 12.1.044–89 OSSS (1990). *Pozharovzryvoopasnost' veshchestv i materialov* [Fire and explosion hazard of substances and materials]. Moskva: Izdatel'stvo standartov.
- [4] Horn, W. E., Jr. (2000). *Inorganic hydroxides and hydroxycarbonates: their function and use as flame retardant additives. Fire Retardancy of Polymeric Materials*. New York: Marcel Dekker.
- [5] IEC 60092–350:2014 (2014). *Electrical installations in ships*. — Part 350: General construction and test methods of power, control and instrumentation cables for shipboard and offshore applications. Edition 4.0.
- [6] IEC 60092–360:2014 (2014). *Electrical installations in ships*. — Part 360: Insulating and sheathing materials for shipboard and offshore units, power, control, instrumentation and telecommunication cables. Edition 1.0.
- [7] IEC 60754–1:2011 (2011). *Test on gases evolved during combustion of materials from cables*. — Part 1: Determination of the halogen acid gas content. Edition 3.0.
- [8] IEC 60754–2:2011 (2011). *Test on gases evolved during combustion of materials from cables*. — Part 2: Determination of acidity (by pH measurement) and conductivity. Edition 2.0.
- [9] IEC 60684–2:2011 (2011). *Flexible insulating sleeving*. — Part 2: Methods of test. Edition 3.0.
- [10] Kamenskij, M. K., Meshchanov, G. I., & Frik, A. A. (2017). *Kabeli i provoda požarobezopasnogo ispolneniya. Sovremennoe sostoyanie i tendencii razvitiya* [Fireproof cables and wires. Current state and development trends]. *Kabeli i provoda*, Specvypusk, 30–35.

- [11] Lina, V., & Chamov, A. V. (2003). Ekstruziya polimerov, ne podderzhivayushchih gorenje [Extrusion of flame retardant polymers]. *Kabeli i provoda*, 6, 16–20.
- [12] Mazyiar, Sabet, Azman, Hassan, Mat, Uzir Wahit, & Chantara, Thevy Ratnam (2009). Thermal characterization of alumina trihydrate (ATH) and flammability studies of ATH filled low density polyethylene. *Journal of industrial technology*, 18 (1), 83–93.
- [13] Mihajlin, Ju. A. (2011). *Teplo-, termo- i ognestojkost' polimernyh materialov* [Heat, thermal and flame resistance of polymeric materials]. Saint Petersburg: Nauchnye osnovy i tehnologii [in Russian].
- [14] Peshkov, I. B. (2013). *Materialy kabel'nogo proizvodstva* [Materials for cable production]. Moskva: Mashinostroenie [in Russian].
- [15] Vlasov, S. V., Kandyrin, L. B., & Kuleznev, V. N. (2006). *Osnovy tekhnologii pererabotki plastmass* [Basics of plastics processing technology]. Moskva: Mir. Publ [in Russian].

Постановка задачи. С ростом насыщенности судов кабельно-проводниковой продукцией потребителями предъявляются все более жесткие требования к электрическим, механическим и, в особенности, пожарным характеристикам как отдельных кабелей, так и кабельных трасс в целом.

К основным параметрам, характеризующим пожарную безопасность кабелей, можно отнести:

- стойкость к распространению горения при одичном расположении кабеля и прокладке пучком;
- малое дымовыделение при горении;
- низкая коррозионная активность газов, выделяемых при горении кабеля (отсутствие галогенсодержащих газов);
- огнестойкость (сохранение работоспособности кабеля в условиях воздействия на него пламени) и др. [2, с. 3–4; 5, с. 37–38].

Длительное время при изготовлении стойких к распространению горения кабелей применяли поливинилхлоридные композиции пониженной горючести, которые при горении выделяли значительное количество дыма, в составе которого в большом количестве содержался хлор и его соединения (галогены).

Выделение галогенсодержащих газов является крайне нежелательным, т. к. при их взаимодействии с влагой воздуха образуются кислоты, которые впоследствии, даже на значительном удалении от зоны пожара, конденсируются на различном электрооборудовании, в том числе, обеспечивающем функционирование важных систем пожаротушения и эвакуации, вывода их из строя.

Такие кабели хотя и применяются на судах, в различных областях промышленного строительства, но современным требованиям пожарной безопасности в полной мере уже не соответствуют.

Выполнение более жестких требований по пожарной безопасности кабелей стало возможным благодаря новому классу материалов — безгалогенным композициям.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ — анализ преимуществ и недостатков безгалогенных композиций по сравнению с другими материалами, которые используются для изоляции и оболочек кабелей, на основании имеющейся информации и результатов

испытаний, проведенных в лаборатории ПрАО «УкрНИИКП», оценка и обоснование целесообразности применения безгалогенных композиций при изготовлении кабельно-проводниковой продукции.

Основной материал. Термин «безгалогенная композиция» не является строгим обозначением полимера как, например, полиэтилен или полипропилен, однако этот термин сильно укоренился в кабельной отрасли, потому представляет собой отдельный класс материалов с повышенной стойкостью к распространению горения.

Как следует из названия, безгалогенные композиции — это полимерные материалы, в составе которых отсутствуют или имеются в очень малом количестве (менее 0,5 % масс.) галогены и которые имеют повышенную стойкость к распространению горения при воздействии пламени.

Безгалогенные композиции, как правило, изготавливаются на основе полиолефинов — полиэтилена или сополимеров этилена (этилен-винилацетат, этилен-акрилат и др.) с введением в полимерную матрицу антипиренов и других добавок, повышающих стойкость материала к горению, а также лучшему диспергированию наполнителей в полимере [14, с. 121].

Наиболее широко в качестве базового полимера для безгалогенных композиций используется этилен-винилацетат (EVA) — сополимер этилена с винилацетатом (рис. 1).

Физико-механические и химические свойства данного сополимера определяет соотношение содержания этиленовых и винилацетатных звеньев.

С увеличением в сополимере доли винилацетатных звеньев повышается плотность, прозрачность, эластичность (каучукоподобное состояние), стой-

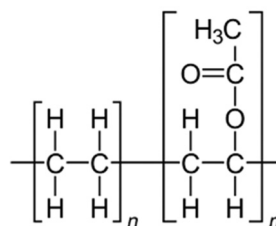


Рис. 1. Структурная формула молекулы EVA

кость к воздействию масел, озону, однако снижается прочность при растяжении, теплостойкость, твердость, кристалличность.

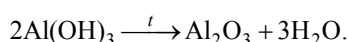
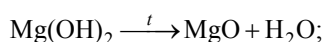
С уменьшением содержания винилацетатных звеньев и увеличением этиленовых сополимер обладает свойствами, характерными для полиэтилена низкой плотности.

Для обеспечения высокой стойкости к распространению горения полимер наполняют большим количеством (до 70 масс. %) неорганических антипиренов [13, с. 226]. Введение антипиренов позволяет значительно повысить кислородный индекс (LOI) материала, характеризующий минимальное содержание кислорода в азотно-кислородной смеси газов, при котором возможно свечное горение материала: чем больше содержание антипирена, тем выше LOI конечной композиции.

Однако с повышением степени наполнения антипиренами снижаются физико-механические характеристики полимера. Именно благодаря высоким исходным (до введения антипиренов) физико-механическим свойствам, высокой совместимости с различными наполнителями и широкими возможностями выбора свойств базового полимера (путем варьирования содержания ацетатных групп), EVA сополимеры широко применяются в качестве полимерной основы при изготовлении безгалогенных композиций.

В качестве антипиренов для безгалогенных композиций с пониженным дымовыделением в основном используют гидроксид алюминия $Al(OH)_3$ и гидроксид магния $Mg(OH)_2$. Широко применяемые галогенсодержащие антипирены в данных композициях применяться не могут по определению.

Механизм действия гидроксидов металлов следующий: при воздействии пламени и, как следствие, повышения температуры, антипирен, входящий в их состав, разлагается с выделением негорючих газов:



Выделение газообразной воды, а также эндотермический процесс деструкции материала и разложения антипирена снижают температуру и концентрацию выделяемых газообразных горючих продуктов в приграничной предпламенной зоне, что замедляет процесс распространения пламени по кабелю [13, с. 217].

Гидроксид алюминия (АГН) более широко используется при изготовлении безгалогенных композиций, однако по сравнению с гидроксидом магния его разложение происходит при меньшей температуре (рис. 2), что оказывает влияние на температурные режимы переработки безгалогенных композиций.

Особенности переработки, реологические свойства

Как известно, эффективная вязкость η расплава прямо пропорциональна напряжению сдвига τ и обратно пропорциональна скорости сдвига $\dot{\gamma}$ [7, с. 580]:

$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}_c}.$$

Большинство безгалогенных не распространяющих горение композиций имеют вязкость расплава выше, чем у композиций полиэтилена или ПВХ. Это объясняется высоким наполнением полимерной матрицы антипиренами: чем оно выше, тем выше напряжение сдвига (рис. 3) [1, с. 35].

В свою очередь, чем выше вязкость расплава и напряжение сдвига, тем большее количество теплоты Q выделяется в процессе экструзии:

$$Q \approx \eta \cdot \dot{\gamma}_c^2.$$

Из приведенного следует, что при переработке безгалогенных композиций в результате больших сдвиговых напряжений происходит более интенсивный саморазогрев расплава материала.

На рис. 4 приведено влияние температуры и длительности ее воздействия на количество выделяемой воды при разложении гидроксида алюминия [12, с. 89].

Из представленных данных видно, что при нахождении материала с гидроксидом алюминия в экструдере более 5 мин при температуре 180 °С может начинаться выделение воды в газообразном состоянии и, как следствие, образование пор в материале.

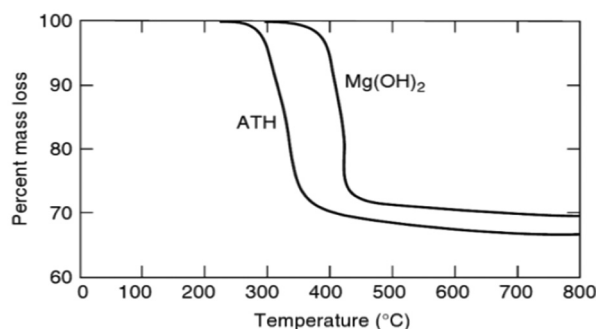


Рис. 2. Термогравиметрические кривые разложения гидроксида алюминия (АГН) и гидроксида магния [4, с. 285]

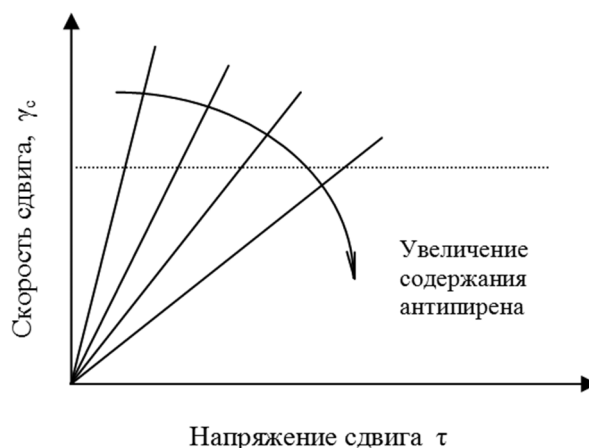


Рис. 3. Графическое изображение зависимости скорости и напряжения сдвига от степени наполнения полимера

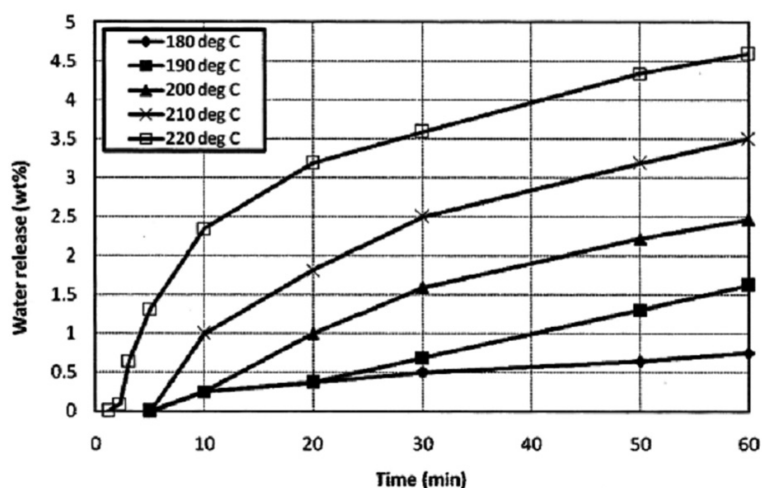


Рис. 4. Разложение гидроксида алюминия при различных температурно-временных условиях

По вышеуказанным причинам экструдеры для переработки безгалогенных композиций оснащаются более мощными приводами, точными системами контроля температуры, специальными шнеками с $L/D = 20 \dots 24$, низкой компрессией 1:1,2 и низкой фрикционной нагрузкой для исключения возникновения дополнительного сопротивления потоку расплава полимера. Каналы для расплава полимера в головке экструдера также делают таким образом, чтобы сопротивление расплаву было минимальным (с большой глубиной) [11, с. 20].

Максимальную температуру переработки безгалогенных композиций, как правило, определяет то, какой из антипиренов входит в ее состав. Температура расплава безгалогенных композиций с гидроксидом алюминия не должна превышать $170 \dots 180$ °C, композиции с гидроксидом магния допускают переработку при температурах до $220 \dots 230$ °C.

Электрические и физико-механические свойства

В [5, с. 37] и детально в [6, с. 9–17] установлены требования к безгалогенным композициям для изоляции и оболочки судовых кабелей (табл. 1–4).

Наполнение полимерной матрицы антипиренами оказывает значительное влияние на электрические и физико-механические свойства получаемого материала. С увеличением степени наполнения полимера антипиренами снижаются его прочность при разрыве, относительное удлинение, удельное объемное электрическое сопротивление, морозостойкость.

Как видно из табл. 2–4, нормируемые значения удельного объемного электрического сопротивления, сопротивления изоляции, относительного удлинения при разрыве для наполненных безгалогенных композиций (HF 90, SHF 1, SHF 2) снижены по сравнению с другими материалами на основе полиолефинов, таки-

Таблица 1. Типы материалов для изоляции и оболочки судовых кабелей

Тип материала	Обозначение	Максимально допустимая температура на токопроводящей жиле (°C) при режимах работы кабеля	
		Нормальный режим работы	Короткое замыкание
Для изоляции			
На основе этилен-пропиленовой резины или аналогичного материала	EPR	90	250
На основе высокомолекулярной или повышенной твердости этиленпропиленовой резины	HEPR	90	250
На основе сшитого полиэтилена	XLPE	90	250
На основе сшитого полиолефинового материала	HF 90	90	250
На основе силиконовой резины	S 95	95	350*
Для оболочки			
Резины на основе хлорированного или хлорсульфированного полиэтилена	SH	90	—
Резины на основе хлоропренового каучука	SE	90	—
Сшитая безгалогенная композиция	SHF 2	90	—
Термопластичная безгалогенная композиция	SHF 1	90	—
Поливинилхлоридный пластикат	ST 2	90	—

*Значение не распространяется на кабели с жилой из луженой медной проволоки и применимо только для силовых кабелей.

Таблица 2. Требования к физико-механическим параметрам материалов для оболочек судовых кабелей

Наименование параметра	Значение параметра				
	SH	SE	SHF 2	SHF 1	ST 2
1. Механические параметры до старения					
1.1. Прочность при растяжении, не менее, Н/мм ²	10,0	10,0	9,0	9,0	4,2
1.2. Относительное удлинение, не менее, %	250	300	120	120	200
2. Механические характеристики после старения:					
– температура, °С	100	100	120	100	135
– продолжительность воздействия, ч	168	168	168	168	168
2.1. Прочность при растяжении:					
– минимальное значение, Н/мм ²	–	–	–	7,0	–
– отклонение, не более, %	±30	±25	±30	±30	±30
2.2. Относительное удлинение при разрыве:					
– минимальное значение, %	–	250	–	110	–
– отклонение, %, не более	±30	±40	±30	±30	±30
3. Испытание на тепловую деформацию:					
– температура, °С	200	200	200		
– продолжительность воздействия, ч	15	15	15		
– механическое напряжение, Н/см ²	20	20	20	–	–
3.1. Удлинение под нагрузкой, не более, %	175	175	175		
3.2. Остаточная деформация, %	15	15	25	–	–
4. Стойкость к воздействию масел:					
– температура, °С	100	100	100		
– продолжительность воздействия, ч	24	24	24	–	–
4.1. Изменение прочности при растяжении, %	±40	±40	±40		
4.2. Изменение относительного удлинения, %	±40	±40	±40	–	–

Таблица 3. Требования к физико-механическим параметрам изоляционных композиций для судовых кабелей

Наименование параметра	Значение параметра				
	EPR	HEPR	XLPE	HF 90	S 95
1. Механические параметры до старения					
1.1. Прочность при растяжении, не менее, Н/мм ²	4,2	8,5	12,5	9,0	7,0
1.2. Относительное удлинение при разрыве, не менее, %	200	200	200	120	150
2. Механические характеристики после старения:					
– температура, °С	135	135	135	135	200
– продолжительность воздействия, ч	168	168	168	168	240
2.1. Прочность при растяжении:					
– минимальное значение, Н/мм ²	–	–	–	–	5,5
– отклонение, не более, %	±30	±30	±25	±30	–
2.2. Относительное удлинение при разрыве:					
– минимальное значение, %	–	–	–	100	120
– отклонение, %, не более	±30	±30	±25	±30	–
3. Испытание на тепловую деформацию:					
– температура, °С	250	250	200	200	250
– продолжительность воздействия, ч	15	15	15	15	15
– механическое напряжение, Н/см ²	20	20	20	20	20
3.1. Удлинение под нагрузкой, не более, %	175	175	175	175	175
3.2. Остаточная деформация после снятия нагрузки, %	15	15	15	15	25

Таблица 4. Требования к электрическим параметрам изоляционных композиций для судовых кабелей

Наименование параметра	Тип изоляционного материала				
	EPR	HEPR	XLPE	HF 90	S 95
Удельное объемное электрическое сопротивление ρ (Ом·см):					
– при 20 °С, не менее	$1,0 \times 10^{15}$	$1,0 \times 10^{15}$	$1,0 \times 10^{15}$	$1,5 \times 10^{14}$	$5,0 \times 10^{13}$
– при максимальной рабочей температуре, не менее	$1,0 \times 10^{12}$	$1,0 \times 10^{12}$	$1,0 \times 10^{12}$	$1,5 \times 10^{11}$	$5,0 \times 10^{10}$
Увеличение емкости при переменном токе после погружения в воду при 50 °С (%):					
– между концом 1-го и концом 14-го дня, не более	15	15	–	15	15
– между концом 7-го и концом 14-го дня, не более	5	5	–	5	5

ми, как этиленпропиленовая резина (EPR), высоко-модульная или повышенной твердости этиленпропиленовая резина (HEPR), сшитый полиэтилен (XLPE).

Пожарные характеристики

К основным характеристикам безгалогенных композиций, характеризующим их поведение при воздействии огня, относят отсутствие галогенов, горючесть, коэффициент дымообразования при горении и тлении, токсичность [2, с. 3–4].

1. *Отсутствие галогенов* в безгалогенных композициях подтверждают комплексом испытаний согласно требованиям [7–9].

Согласно установленным нормам, материал считается безгалогенным при выполнении следующих условий:

- содержание хлора (Cl) и брома (Br) в газах, выделяемых при горении материала, не более 0,5 % (метод испытаний согласно IEC 60754-1);

- содержание фтора (F) в газах, выделяемых при горении материала, не превышает 0,1 % (метод испытаний согласно IEC 60684-2);

- pH и удельная проводимость водного раствора газов, выделяемых при горении материалов, должны быть не менее 4,3 и не более 10 мкСм/мм соответственно (метод испытаний согласно IEC 60754-2).

2. *Горючесть материалов*, как правило, определяют путем измерения их кислородного индекса. Кислородный индекс для безгалогенных материалов не нормируется, но предпочтительным является применение материалов с более высоким значением LOI.

Как правило, в пожаробезопасных кабелях применяют безгалогенные композиции со следующими значениями LOI:

- для оболочки – 35–45;
- для изоляции – 28–34 (сказывается снижение диэлектрических характеристик с увеличением степени наполнения полимера антипиренами);
- для заполнения – 45–60.

Поскольку к материалу для заполнения не предъявляются требования по диэлектрическим и физико-механическим параметрам, то при изготовлении таких полимерных композиций есть возможность введения антипиренов в значительно большем количестве, что позволяет повысить негорючесть как самого материала, так и кабеля в целом.

Следует отметить, что стойкость кабелей к распространению горения не находится в прямой зависимости от величины LOI, применяемых в нем материалов. Кислородный индекс хоть и является достаточно информативным показателем степени горючести материала, однако применение композиций с высоким LOI не гарантирует соответствие кабеля требованиям соответствующих стандартов по стойкости к горению.

На основании значительного количества испытаний различных кабелей на стойкость к горению в пучке (по IEC 60332-3-22, категория А), проведенных в ПрАО «УкрНИИКП», можно сделать вывод,

что не менее важной характеристикой материала является его способность образовывать после сгорания твердый каркас из золы (рис. 5).

Такая скоксовавшаяся масса предотвращает проникновение пламени в нижележащие слои кабеля и препятствует его дальнейшему распространению по кабелю.

3. *Коэффициент дымообразования* — показатель, характеризующий оптическую плотность дыма, образующегося при пламенном горении или термоокислительной деструкции (тлении) определенного количества материала в условиях специальных испытаний [3, с. 10].

Различают три группы материалов по дымообразующей способности в зависимости от коэффициента дымообразования (табл. 5).

Как видно из результатов испытаний (табл. 6), проведенных в ПрАО «УкрНИИКП» по ГОСТ 12.1.044–89, безгалогенные композиции характеризуются умеренной дымообразующей способностью и выделяют значительно меньшее количество дыма по сравнению с полиэтиленом.

Проведенный комплекс испытаний по IEC 61034-2 готовых кабелей показал, что значительное влияние на дымовыделение оказывает упомянутая выше способность материалов (в особенности оболочки) к коксованию после сгорания. Образование кокса препятствует проникновению пламени во внутренние слои кабеля, тем самым снижая количество сгоревшего материала и, соответственно, выделившегося дыма.

4. *Токсичность* — показатель, характеризующий отношение количества материала к единице объема замкнутого пространства, в котором образующиеся при горении материала газообразные продукты вызывают гибель 50 % подопытных животных [3, с. 11].

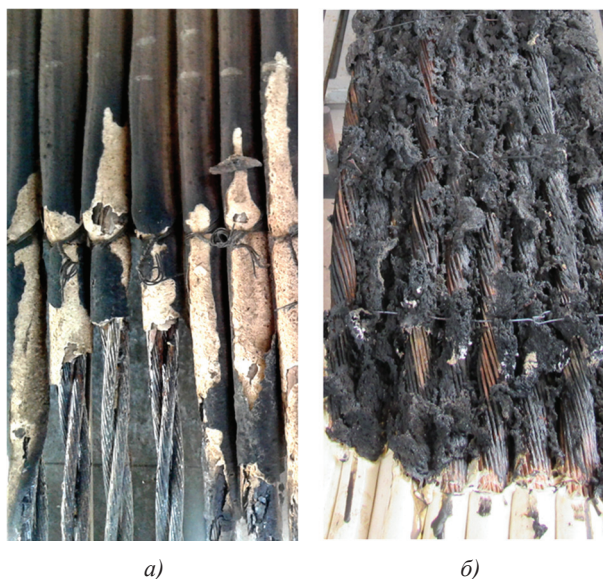


Рис. 5. Состояние оболочки после испытаний кабелей на стойкость к горению в пучке: а) оболочка из безгалогенной композиции (имеет целостный вид); б) оболочка из ПВХ пластика марки ОНЗ-40 (сгоревшая оболочка в виде отдельных агломератов)

Различают четыре класса опасности материалов по показателю токсичности (табл. 7).

Испытания проводят, как правило, при времени экспозиции 30 минут.

Как и в случае с показателем дымовыделения, токсичность безгалогенных композиций (умеренно-опасные) значительно ниже, чем у полиэтиленов (высокоопасные).

5. Показатели пожарной опасности материалов, определяемые методом кон-калориметрии

За последние годы, в связи с разработкой и внедрением современных видов испытательного оборудования, для оценки пожаробезопасных свойств материалов определяют и другие характеристики, такие, как скорости тепловыделения и выгорания материала, потеря массы. Такие испытания проводятся методом кон-калориметрии по ISO 5660-1.

На рис. 6 и 7 представлены результаты сравнительных испытаний безгалогенной композиции марки Винтес 2010 и ПВХ пластиката пониженной пожарной опасности марки Лоусгран 2110, проведенных методом кон-калориметрии в ОАО «ВНИИКП».

Как видно из представленных данных, суммарное дымовыделение безгалогенной композиции Винтес 2010 ниже в 1,5 раза, чем у ПВХ пластиката Лоусгран 2110. Примерно такое же соотношение, только в пользу ПВХ пластиката, наблюдается при сравнении тепловыделения этих двух материалов для оболочек кабелей.

Меньшее выделение тепла при горении ПВХ пластиката является следствием эндотермической реакции выделения хлористого водорода в дополнение к другим негорючим газам, выделяемых при разложении антипиренов, которые входят в состав не

Таблица 5. Классификация материалов по дымообразующей способности

Дымообразующая способность материала	Коэффициент дымообразования D_m , м ² /кг
Малая	До 50
Умеренная	50–500
Высокая	Свыше 500

Таблица 6. Результаты определения противопожарных характеристик кабельных материалов

Материал	LOI	Коэффициент дымообразования D_m , м ² /кг	Показатель токсичности H_{CL50} , г/м ³ (30 мин)
ПЭ 102-57	18...19	917	28,7
Безгалогенные композиции для изоляции			
Винтес 1110	32...35	313	40...120
СС 7760	34	205	92,7
Безгалогенные композиции для оболочки			
Винтес 2010	45	355	40...120
CONGuard S 6645	45	250	77,5
Безгалогенные композиции для заполнения			
Винтес 3020	50	180	40...120
СС 5212	55	105	135

Таблица 7. Классификация материалов по токсичности

Класс опасности	H_{CL50} , г/м ³ , при времени экспозиции, мин			
	5	15	30	60
Чрезвычайно опасные	До 25	До 17	До 13	До 10
Высокоопасные	25...70	17...50	13...40	10...30
Умеренноопасные	70...210	50...150	40...120	30...90
Малоопасные	≥ 210	≥ 150	≥ 120	≥ 90

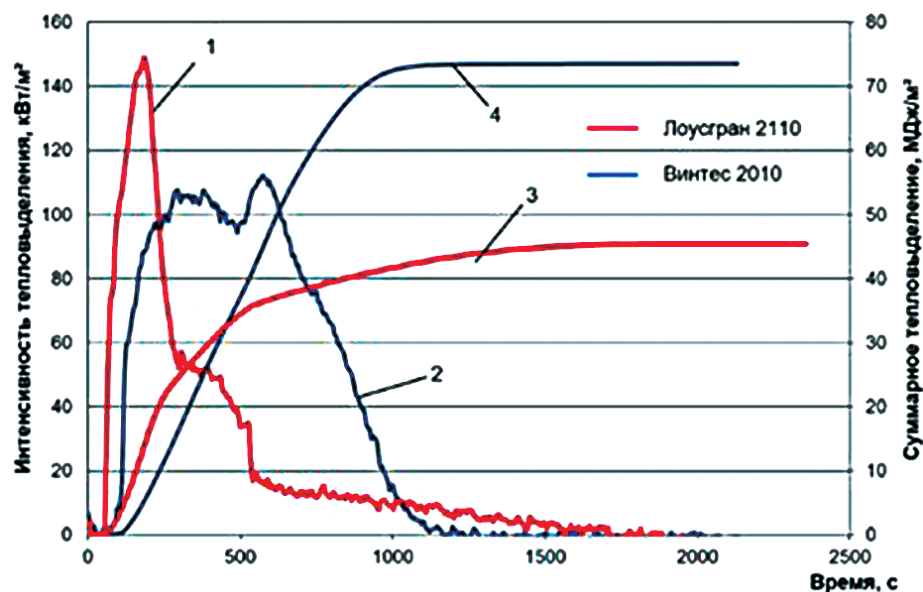


Рис. 6. Изменение интенсивности тепловыделения (1 и 2) и суммарного тепловыделения (3 и 4) при горении материалов Лоусгран 2110 и Винтес 2010 [10, с. 34]

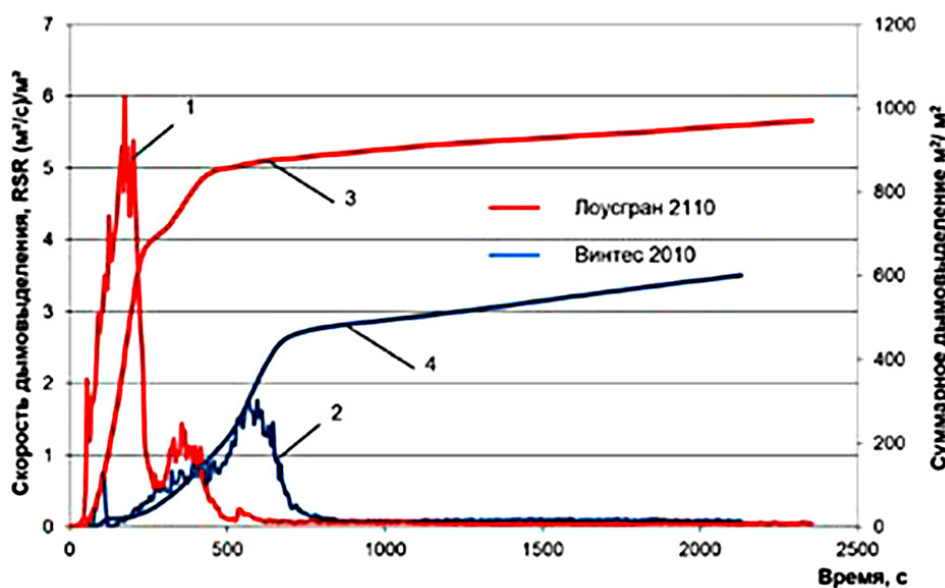


Рис. 7. Изменение скорости дымовыделения (1 и 2) и суммарного дымовыделения (3 и 4) материалов Лоусгран 2110 и Винтес 2010 [10, с. 34]

только безгалогенных композиций, но и ПВХ пласти-
катов пониженной пожарной опасности.

ВЫВОДЫ. В настоящее время безгалогенные
композиции прочно заняли место в индустрии про-
изводства кабелей и проводов и с каждым годом их
использование расширяется. Применение для изо-
ляции, заполнения и оболочек кабелей безгалоген-
ных композиций позволяет значительно повысить
пожаробезопасность как самих кабелей и кабельных
трасс, так и объектов, на которых они прокладывают-
ются в целом.

Несмотря на некоторое снижение диэлектри-
ческих и физико-механических характеристик по
сравнению с полиэтиленами, а также более высокий
уровень тепловыделения при горении, чем у ПВХ
пластиков, применение безгалогенных композиций
с повышенной стойкостью к распространению горе-
ния является обоснованным и безальтернативным
для выполнения всех требований к современным по-
жаробезопасным кабелям, включая повышение стой-
кости к распространению горения, снижение дымо-
выделения, токсичности продуктов горения, отсут-
ствие выделения коррозионно-активных газов и т. д.

Список литературы

- [1] Чулеева, О. В. (2017). Вплив наповнювачів-антипіренів на реологічні властивості композиційних матеріалів кополімеру етилену з вінілацетатом. *Східно-Європейський журнал передових технологій*, 4/1, 32–37.
- [2] ДСТУ 4809:2007 (2007). *Ізольовані проводи та кабелі. Вимоги пожежної безпеки та методи випробування*. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України.
- [3] ГОСТ 12.1.044–89 ССБТ (1990). *Пожаровзрывоопасность веществ и материалов*. Москва: Издательство стандартов.
- [4] Horn, W. E., Jr. (2000). *Inorganic hydroxides and hydroxycarbonates: their function and use as flame retardant additives. Fire Retardancy of Polymeric Materials*. New York: Marcel Dekker.
- [5] IEC 60092–350:2014 (2014). *Electrical installations in ships*. — Part 350: General construction and test methods of power, control and instrumentation cables for shipboard and offshore applications. Edition 4.0.
- [6] IEC 60092–360:2014 (2014). *Electrical installations in ships*. — Part 360: Insulating and sheathing materials for shipboard and offshore units, power, control, instrumentation and telecommunication cables. Edition 1.0.
- [7] IEC 60754–1:2011 (2011). *Test on gases evolved during combustion of materials from cables*. — Part 1: Determination of the halogen acid gas content. Edition 3.0.
- [8] IEC 60754–2:2011 (2011). *Test on gases evolved during combustion of materials from cables*. — Part 2: Determination of acidity (by pH measurement) and conductivity. Edition 2.0.
- [9] IEC 60684–2:2011 (2011). *Flexible insulating sleeving*. — Part 2: Methods of test. Edition 3.0.
- [10] Каменский, М. К., Мещанов, Г. И., & Фрик, А. А. (2017). Кабели и провода пожаробезопасного исполнения. Современное состояние и тенденции развития. *Кабели и провода*. Спецвыпуск, 30–35.
- [11] Лина В., & Чамов А. Экструзия полимеров, не поддерживающих горение. *Кабели и провода*. 2003. № 6. С. 16–20.
- [12] Mazyiar, Sabet, Azman, Hassan, Mat, Uzir Wahit, & Chantara, Thevy Ratnam (2009). Thermal characterization of alumina trihydrate (ATH) and flammability studies of ATH filled low density polyethylene. *Journal of industrial technology*, 18 (1), 83–93.
- [13] Михайлин, Ю. А. (2011). Тепло-, термо- и огнестойкость полимерных материалов. Санкт-Петербург: Научные основы и технологии.
- [14] Пешков, И. Б. (2013). *Материалы кабельного производства*. Москва: Машиностроение.
- [15] Власов, С. В., Кандырин, Л. Б., & Кулезнев, В. Н. и др. (2006). *Основы технологии переработки пластмасс*: Учебник для вузов. Москва: Мир.

© И. А. МирчукСтаттю рекомендує до друку
д-р техн. наук, проф. В. Ф. Квасницький