

## Основные аспекты пожарной безопасности электрических кабелей

*М.К. Каменский, канд. техн. наук, заместитель заведующего отделением кабелей и проводов энергетического назначения (ОАО «ВНИИКП»)*



Смотрите на [RusCable.Ru](http://RusCable.Ru) в разделе «Видео»



Проблема пожарной безопасности электрических кабелей остро обозначилась в 70-х годах прошлого столетия, в связи с ростом числа пожаров на тепловых электростанциях, атомных станциях (АЭС) и других крупных энергетических объектах. В значительной мере рост числа пожаров в кабельных коммуникациях был обусловлен увеличением количества кабелей, используемых в целях питания, контроля и управления электрооборудования на современных производствах, а также использованием при грунтовых прокладках кабелей общепромышленного исполнения без дополнительных мер по их огнезащите. Разветвленные кабельные коммуникации являются не только носителями пожарной нагрузки, но и направляющими системами, по которым огонь может распространяться по зданиям и сооружениям, поэтому в современных условиях повышение параметров пожарной безопасности кабелей является одной из актуальных задач как в отечественной кабельной промышленности, так и в мировой практике.

Несмотря на значительные успехи в решении задач по повышению пожарной безопасности кабельной продукции в настоящее время также существует множество проблемных вопросов, на решение которых направлено действие «Технического регламента о требованиях пожарной безопасности». Введение в действие Технического регламента должно обеспечить нормирование обязательных требований по целому ряду показателей пожарной безопасности кабелей и материалов кабельного производства, которые ранее были установлены только отдельными ведомственными нормами и правилами для кабелей специального назначения. Это будет способствовать созданию единой нормативной базы по пожарной безопасности для кабельных изделий, а также разработке и внедрению прогрессивных типов кабелей и установлению рациональных областей их применения.

До утверждения «Технического регламента о требованиях пожарной безопасности» в кабельной промышленности России была выработана общая

идеология пожарной безопасности кабельной продукции, которая основана на международном опыте, требованиях гармонизированных документов комитета CENELEC и стандартов Международной электротехнической комиссии (МЭК). Концепция пожарной безопасности электрических кабелей нашла поддержку во ВНИИПО МЧС России, а также у потребителей в ведущих отраслях народного хозяйства (например, на объектах использования атомной энергии, метро, транспорте).

При формировании комплекса требований по пожарной безопасности кабелей ОАО «ВНИИКП» руководствовались основными опасными факторами пожара, которые проявляются при горении электрических кабелей. Приведенные опасные факторы пожара теперь также установлены в Техническом регламенте (глава 2, статья 9).

**Опасные факторы пожара, проявляющиеся при горении кабелей:**

1. Пламенное горение, тепловыделение
2. Распространение горения
3. Дымовыделение, снижение видимости в дыму
4. Выделение токсичных газообразных продуктов горения
5. Коррозионная активность продуктов дымо- и газовыделения

Горение электрических кабелей сопровождается выделением значительного количества тепла, которое определяется удельной теплотой сгорания материалов изоляции, защитных оболочек кабелей и массой этих материалов, содержащихся в единице длины кабеля. Как показали опыты по сжиганию потоков кабелей в условиях кабельного туннеля температура в зоне горения кабелей с изоляцией из полиэтилена или с бумажной пропитанной изоляцией достигает 1 000 — 1 200 °С. При этом наблюдается выделение значительного объема черного дыма и других газообразных продуктов, что приводит к снижению видимости и затрудняет действия персонала по тушению пожара и эвакуации людей.

Известно, что при горении полимерных композиций могут образовываться удушающие и токсичные вещества, такие как оксид углерода, оксид азота, сероводород, хлористый водород, формальдегиды и ряд других, которые при вдыхании могут вызвать повреждение дыхательных путей или привести к летальному исходу. Особенно опасным является оксид углерода, который образуется при горении практически всех материалов и в большинстве слу-

чаев является причиной несчастных случаев при пожарах.

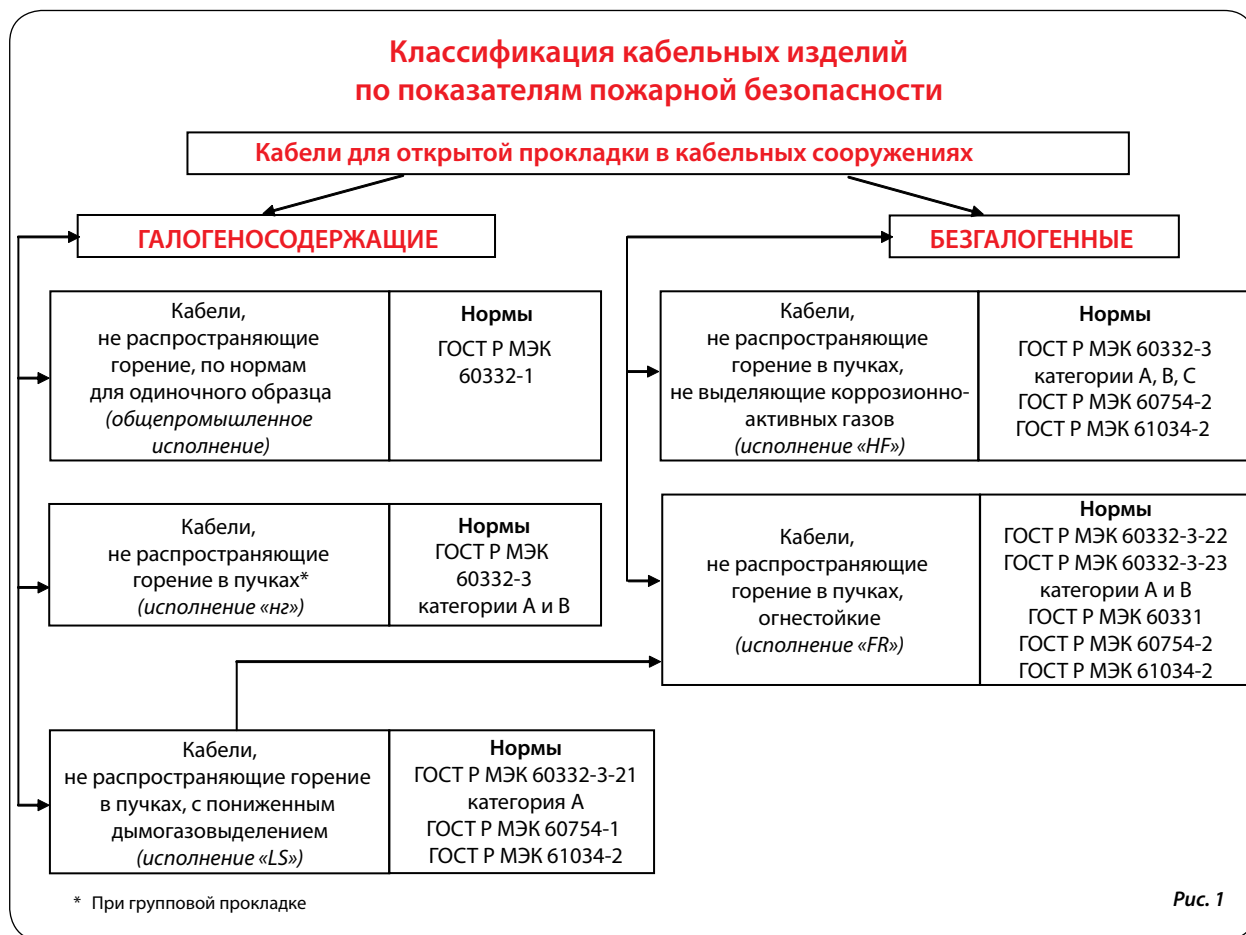
При деструкции и горении полимерных композиций изоляции и оболочек кабеля выделяются газообразные вещества, например, хлор, бром, фтор, диоксид серы и другие, которые соединяясь с парами воды образуют кислоты или щелочи, способные вызывать коррозию металлоконструкций и коррозионное повреждение электронного оборудования. Хотя коррозионная активность продуктов горения непосредственно не влияет на развитие пожара, тем не менее, необходимо учитывать этот фактор при конструировании кабелей, так как коррозионное разрушение металлоконструкций и оборудования вызывает дополнительный ущерб от пожара, который значительно превышает в ряде случаев стоимость сгоревших кабелей.

С учетом перечисленных выше опасных факторов пожара при горении кабелей в настоящее время нормирован комплекс показателей пожарной безопасности электрических кабелей, которым руководствуются как производители, так и потребители кабелей (Табл. 1).

Приведенные в табл. 1 характеристики пожарной безопасности реализованы в конкретных типах кабелей с учетом их функционального назначения.

**Таблица 1. Нормированные показатели пожарной безопасности электрических кабелей**

Наименование показателя	Обозначение в марках кабелей	Нормативная база для оценки показателя
1. Нераспространение горения: - одиночного образца	без обозначения	ГОСТ Р МЭК 60332-1 ГОСТ Р МЭК 60332-2
- при групповой прокладке	индекс «нг»	ГОСТ Р МЭК 60332-3-21 ГОСТ Р МЭК 60332-3-22 ГОСТ Р МЭК 60332-3-23 ГОСТ Р МЭК 60332-3-24 ГОСТ Р МЭК 60332-3-25
2. Дымогазовыделение при горении и тлении	индекс «LS»	ГОСТ Р МЭК 61034-2
3. Коррозионная активность продуктов дымо- и газовыделения	индекс «HF»	ГОСТ Р МЭК 60754-1 ГОСТ Р МЭК 60754-2
4. Огнес 4. Огнестойкость тойкость	индекс «FR»	ГОСТ Р МЭК 60331-11 ГОСТ Р МЭК 60331-21 ГОСТ Р МЭК 60331-23
5. Токсичность продуктов горения	индекс «LTx»	ГОСТ 12.1.044-89



Так для целей питания потребителей систем безопасности АЭС и систем пожарной безопасности кроме требований по соответствию основным показателям требуется чтобы кабели сохраняли работоспособность при воздействии пламени. Как правило, реализация требований по пожарной безопасности связана с достижением определенного компромисса между уровнем требований по показателям пожарной безопасности и основными электрическими и физико-механическими характеристиками кабелей. Поэтому характеристики пожарной безопасности в конструкциях кабелей могут быть реализованы в отдельности или в совокупности. Степень реализации требований пожарной безопасности кабелей определяется областью применения кабелей. С учетом степени реализации требований по пожарной безопасности выпускаемые в настоящее время кабели могут быть классифицированы по следующим пяти группам, представленным на рис. 1.

Как видно из представленной классификации общим требованием для кабелей, предназначенных для прокладки в кабельных сооружениях, является нераспространение горения. Это одна из важней-

ших характеристик кабеля, свидетельствующая о способности кабеля самостоятельно прекращать горение после удаления источника зажигания. При этом установлены требования по нераспространению горения для одиночного образца кабеля и требования по нераспространению горения при групповой прокладке кабелей.

Было экспериментально установлено, что использование кабелей, удовлетворяющих требованию по нераспространению горения для одиночного образца, при их групповой прокладке может приводить к распространению пламени по кабелям.

Установлено, что распространение горения зависит не только от объема проложенных кабелей, но и от их взаимного расположения в пространстве. В качестве примера на рис. 2 показано, что кабели общепромышленного исполнения типа ВВГ и НРГ при их количестве, равном 5, в большинстве случаев распространяют горение при вертикальном расположении образцов. При этом устойчивое распространение горения наблюдается при расположении кабелей в пучке с зазором, как это показано на рис. 3.

В этой связи все современные типы кабелей, которые не распространяют горение при групповой прокладке (исполнение «нг») подвергают испытаниям в пучках с нормированным объемом сгораемых материалов (числом кабелей) при расположении их с зазором или без него в зависимости от типов кабелей и характерного способа их прокладки в кабельных сооружениях (рис. 4).

В соответствии с серией ГОСТ Р МЭК 60332-3 кабели по нераспространению горения в пучках в зависимости от нормируемого объема массы неметаллических элементов конструкции подразделяют на 5 категорий. Наиболее жесткие нормы установлены для кабелей по категории испытаний А и АF/R, для которых нормированный объем сгораемых материалов составляет 7 л на 1 метр пучка кабелей. Как правило, в России эти требования установлены для кабелей энергетического назначения (силовых, контрольных и управления). Для других типов кабелей могут быть установлены менее жесткие нормы, которые определены в категориях испытаний образцов с объемом массы сгораемых материалов 3,5 л/м (категория В) или 1,5 л/м (категория С).

Для оценки влияния конструктивного исполнения кабелей и свойств материалов на нераспространение горения была выполнена серия огневых испытаний кабелей в лабораторных условиях и условиях пожара в кабельном туннеле. На основе экспериментальных и теоретических исследований была предложена физико-математическая модель горения кабеля, которая позволила составить уравнение теплового баланса. Анализ уравнения теплового баланса процесса горения кабеля дал возможность выявить параметры изоляционных и защитных материалов, имеющие решающее значение для развития процесса горения кабеля. В

Зависимость распространения горения от количества отрезков в пучке кабелей



Рис. 2

Зависимость распространения горения от величины зазора между кабелями в потоке

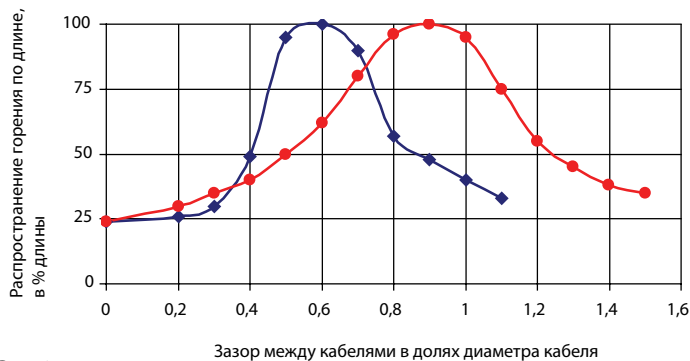
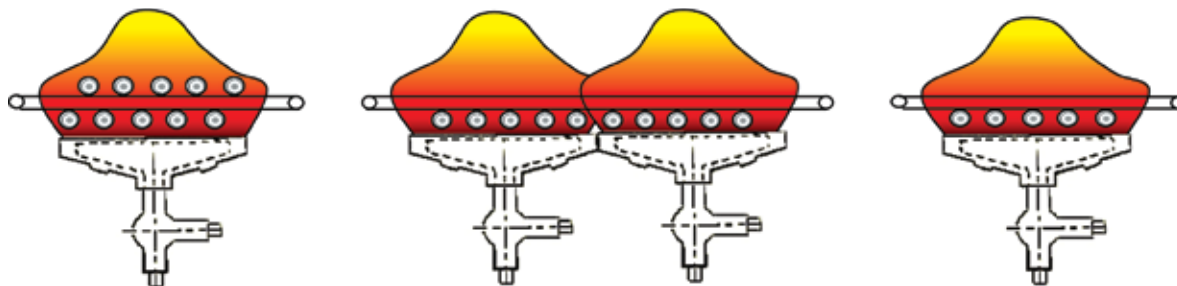


Рис. 3

частности установлено, что для развития горения принципиальное значение имеют удельная теплота сгорания и теплота газификации полимерных материалов. Серия экспериментальных исследований по оценке изменения параметров изоляции при воздействии пламени позволила выработать инже-

Расположение образцов кабелей при испытании на нераспространение горения



7 л/м, категория А F/R  
τ = 40 мин

7 л/м, категория А  
τ = 40 мин

3,5 л/м, категория В  
τ = 40 мин

Схема 4



Таблица 2. Значения теплоты сгорания и кислородного индекса полимерных материалов

Наименование материалов кабельного производства	Значение высшей теплоты сгорания, МДж/кг	Значение кислородного индекса
Полиэтилен самозатухающий	41,9	25
Сшитый полиэтилен	48,0	18
Поливинилхлоридный пластикат обычных рецептур:		
И40-13А	23,7	24
О-40	25,8	25
Поливинилхлоридный пластикат пониженной горючести марок:		
НГП 40-32	19,7	32
НГП 30-32	18,4	32
Поливинилхлоридный пластикат пониженной пожарной опасности (с низким дымо- и газовыделением):		
для изоляции ППИ 30-30	18,9	30
для заполнения ППВ 28	10,0	28
для оболочки ППО 30-35	17,7	35
Полимерные композиции, не содержащие галогенов:		
для изоляции	16,3	35
для заполнения	7,4	40
для оболочки	14,2	45
Политетрафторэтилен	5	95

Таблица 3. Характеристики пожарной безопасности материалов, подлежащие нормированию

Характеристика	Нормируемые показатели
1. Горючесть материала	- кислородный индекс (КИ) - температурный индекс КИ - теплота сгорания - температура воспламенения
2. Дымообразующая способность при горении и тлении	- оптическая плотность дыма - максимальная оптическая плотность дыма
3. Токсичность продуктов горения	- класс токсичности - значение индекса токсичности
4. Коррозионная активность продуктов горения	- доля выделяющегося HCL - кислотное число рН - проводимость водного раствора с абсорбированными газами

нерные решения по обеспечению функционирования кабеля при пожаре и обеспечению требований по другим показателям пожарной безопасности. Основные технические решения по реализации требований пожарной безопасности при конструировании кабелей представлены на рис. 5.

В частности показано, что при конструировании кабелей не распространяющих горение необходимо ограничить массу сгораемых материалов, снизить общее тепловыделение от сгораемых материалов, что достигается применением труднгорючих материалов с низкой теплотой сгорания, высоким значением кислородного индекса, а также применением термических барьеров, которые препятствуют нагреву внутренних элементов конструкции кабеля (способствуют отражению теплового потока, лучистого тепла) и ограничивают доступ кислорода в зону горения.

В настоящее время для кабелей не распространяющих горение серии «нг-LS», «нг-HF» используют полимерные специальные композиции, характеристики горючести которых представлены в табл. 2. Нужно отметить, что в нормативной документации на материалы кабельного производства пока нет показателей, характеризующих в полном объеме их горючесть. Требования Технического регламента обязывают производителя указывать эти параметры. Принимая во внимание, что обеспечение современных требований по дымообразованию, коррозионной активности и токсичности продуктов дымо- и газовойделения кабелей решается главным образом путем применения специальных полимерных композиций, необходимо чтобы в документации производителей этих материалов были приведены следующие характеристики, указанные в табл. 3.

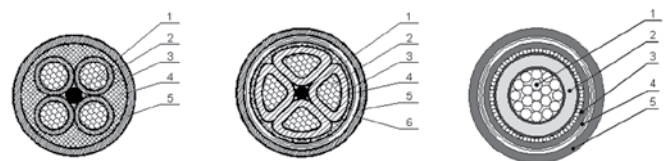
Для производства кабелей наиболее полно соответствующих современному комплексу показателей

пожарной безопасности (кабелей серий нг-LS, нг-HF и нг-FR) созданы специальные ПВХ пластикаты пониженной пожарной опасности и полимерные композиции, не содержащие галогенов. Разработка и освоение промышленного производства осуществлены совместно с фирмой «Проминвест Пластик» (г. Харьков). На базе ПВХ композиций создана серия кабелей не распространяющих горение с низкими дымо- и газовойделением. Основные типы силовых кабелей исполнения нг-LS представлены на рис. 6, а основные преимущества этих кабелей по сравнению с кабелями исполнения «нг» приведены на рис. 7.

Отличительной особенностью конструкций кабелей серии нг-LS является то, что они выполнены с экструдированным заполнением (внутренней оболочкой), обеспечивающим им круглую форму, что позволяет их использовать для подключения взрывозащищенного оборудования.

Кабели не распространяющие горение безгалогенного типа, были созданы с применением полимерных композиций не содержащих галогенов,

Основные типы кабелей исполнения «нг-LS»



I	II	III
1. ТПЖ – Cu, Al	1. ТПЖ – Cu, Al	1. ТПЖ – Cu, Al
2. Изоляция – PVC (ППИ)	2. Изоляция – XLPE	2. Изоляция – XLPE
3. Заполнение – PVC (ППВ)	3. Внутренняя оболочка – PVC (ППО)	3. Внутренняя оболочка – PVC (ППО)
4. Оболочка – PVC (ППО)	4. Термический барьер	4. Термический барьер
	5. Наружная оболочка – PVC (ППО)	5. Наружная оболочка – PVC (ППО)

Рис. 6

## Отличительные свойства кабелей исполнения «нг-LS»

- |  |   |   |
|--|---|---|
| 1. Нераспространение горения при групповой прокладке | → | Удовлетворяют требованиям ГОСТ Р МЭК 60332-3-21, категория A F/R  |
| 2. Дымообразование при горении и тлении              | → | В 2,5 – 3 раза ниже, чем у кабелей с ПВХ изоляцией.<br>Снижение светопрозрачности в камере 27 м3 ≤ 50 % |
| 3. Массовая доля HCl, выделяющегося при сгорании     | → | В 2 – 2,5 раза ниже чем при сгорании кабелей с ПВХ изоляцией (менее 15 %)                               |
| 4. Токсичность продуктов горения                     | → | Относятся к классу малоопасных и умеренно опасных по ГОСТ 12.1.044-89                                   |

Рис. 7

## Отличительные свойства электрических кабелей исполнения «нг-HF»

- |   |   |   |
|---|---|---|
| 1. Нераспространение горения при групповой прокладке                  | → | Удовлетворяют требованиям ГОСТ Р МЭК 60332-3-22, категория A<br>ГОСТ Р МЭК 60332-3, категория B и C |
| 2. Дымообразование при горении и тлении                               | → | Снижение светопрозрачности в камере 27 м3 10-25 %   |
| 3. Массовая доля галогено-содержащих газов, выделяющихся при сгорании | → | Не более 0,5 %  |
| 4. Показатели коррозионной активности продуктов горения:              |   |   |
| - кислотное число pH  | → | ≥ 4,3   |
| - проводимость водного раствора с адсорбированными газами, мкСм/мм    | → | ≤ 10  |
| 5. Токсичность продуктов горения                                      | → | Относятся к классу умеренно-опасных по ГОСТ 12.1.044-89   |

Рис. 8

производства фирмы «Condor Compounds» (Германия). Кабели были разработаны специально для нужд атомных электростанций, а в последние годы их применение активно продвигается в метро и на других объектах. На рис. 8 показаны основные типовые конструкции кабелей серии «нг-HF» для АЭС и метро. Основные преимущества кабелей безгалогенного типа приведены на рис. 9.

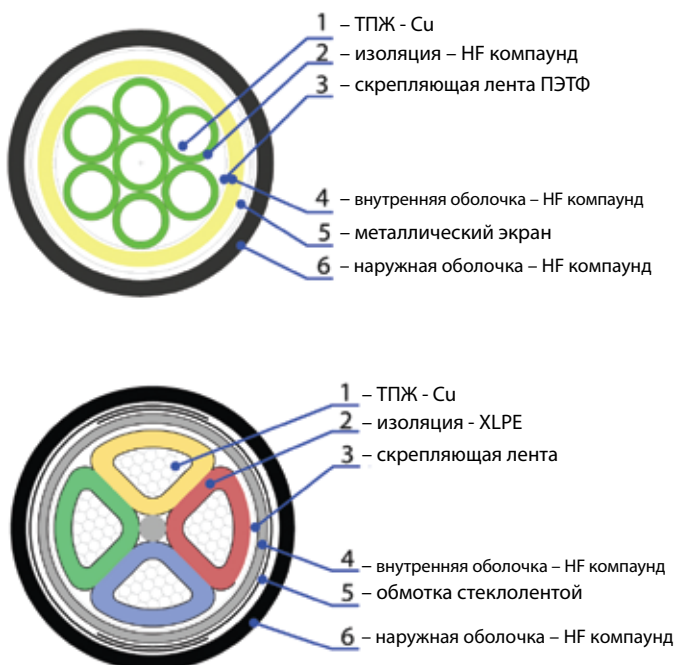
Старейшим типом огнестойких кабелей являются кабели с минеральной изоляцией в стальной или медной оболочке. Кабели обладают высоким уровнем

пожаробезопасности, сохраняют работоспособность при воздействии режима стандартного пожара, относятся к категории кабелей безопасности.

Кабели с повышенными показателями пожарной безопасности получили широкое развитие в Рос-

## Основные типы кабелей исполнения «нг-HF»

### Кабели для АЭС



### Кабели для метрополитена

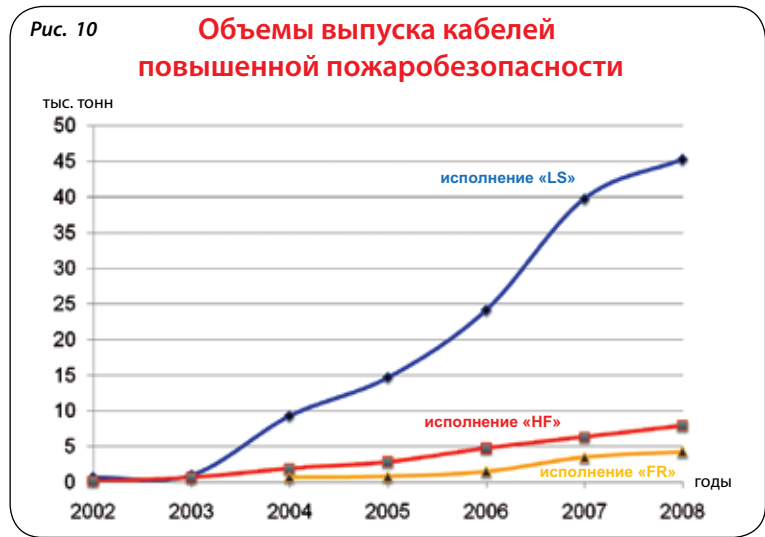


Рис. 9

сийской Федерации в последние 5 лет. Динамика производства и применения кабелей не распространяющих горение и огнестойких представлена на рис. 10. При этом в последние годы наметилась общая тенденция по наращиванию объемов применения кабелей безгалогенного типа и огнестойких кабелей, благодаря формированию национальной нормативной базы по их использованию.

С учетом требований Технического регламента по пожарной безопасности кабельные изделия по показателям пожарной безопасности должны соответствовать условиям их применения. Это поставило задачу установления рациональных областей электрических кабелей с учетом класса их пожарной безопасности и конструктивного исполнения. Этому способствует разработка и утверждение ГОСТ Р 53315-2009 «Кабельные изделия. Требования пожарной безопасности», которым рекомендованы преимущественные области применения кабелей с учетом их типового исполнения. Преимущественные области кабелей общепромышленного исполнения, исполнений нг-LS, нг-HF и нг-FR, согласно ГОСТ Р 53315 и проекта ГОСТ Р «Кабели силовые с пластмассовой изоляцией на 0,6-3 кВ ОТУ», представлены в табл. 4.

Следует обратить внимание на тот факт, что кабели общепромышленного исполнения при групповой прокладке требуют обязательного использования дополнительных мер по огнезащите. А кабели исполнения «нг» разрешены для применения только



для наружных электроустановок, их использование в закрытых кабельных сооружениях и помещениях не рекомендуется.

Для дальнейшего развития кабелей с повышенными показателями пожарной безопасности в ОАО «ВНИИКП» создана экспериментальная база по испытаниям кабелей на соответствие всего комплекса показателей пожарной безопасности, за исключением показателя токсичности продуктов горения. Испытания кабелей на токсичность ОАО «ВНИИКП» организует с привлечением испытательной базы предприятий, имеющих лицензию на этот вид деятельности.

**Таблица 4. Области применения кабелей повышенной пожаробезопасности**

Тип кабелей, исполнение	Класс пожарной опасности по НПБ 248-97	Преимущественные области применения
Кабели общепромышленного исполнения	O1.7.2.3	Для прокладки одиночных кабельных линий в кабельных сооружениях и помещениях. При групповой прокладке обязательно применению средств огнезащиты
Кабели, не распространяющие горение, с низким дымо- и газовыделением, исполнения «нг-LS»	П1.7.2.1 (П1.7.2.2)	Для групповой прокладки кабельных линий в кабельных сооружениях и помещениях внутренних (закрытых) электроустановок, в том числе в жилых и общественных зданиях и на объектах использования атомной энергии
Кабели, не распространяющие горение, с изоляцией и оболочкой из полимерных композиций, не содержащих галогенов, исполнения «нг-HF»	П1.7.1.2 (П2.7.1.2)	Для кабельных линий питания электрооборудования атомных станций (АЭС), электропроводок в офисных помещениях, оснащенных компьютерной техникой и микропроцессорной техникой, в детских садах, школах, больницах и кабельных линий зрелищных комплексов и спортивных сооружений
Кабели, не распространяющие горение, огнестойкие, исполнения:		Для кабельных линий питания оборудования систем безопасности АЭС, электропроводок цепей питания систем пожарной безопасности (оборудования пожаротушения, систем оповещения и эвакуации людей, систем дымоудаления) и электропроводок в операционных отделениях больниц, а также других цепей бесперебойного энергоснабжения.
- «нг-FRLS»	П1.1.2.1	
- «нг-FRHF»	П1.1.1.2 (П2.1.1.2)	
- КМИ	П1.1.1.1	